



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PAVIMENTOS COM
REVESTIMENTO DO TIPO *CAPE SEAL* E CBUQ**

Evandro Ismael Scherer

Lajeado, dezembro de 2015

Evandro Ismael Scherer

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PAVIMENTOS COM
REVESTIMENTO DO TIPO *CAPE SEAL* E CBUQ**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como exigência para aprovação da disciplina e obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos

Lajeado, dezembro de 2015

Seja qual for o seu sonho, comece.
Ousadia tem genialidade, poder e magia.
Johann Goethe

AGRADECIMENTOS

“Aprendi que vai demorar muito tempo para me transformar na pessoa que quero ser, e devo ter paciência. Mas, aprendi também que posso ir além dos limites que eu próprio coloquei” (Charles Chaplin).

Após sete anos cursando Engenharia Civil aprendi inúmeras coisas das quais sou grato hoje. Foi necessária muita disciplina e planejamento para poder conciliar estudo, trabalho e vida social para atingir mais uma das minhas metas: o título de bacharel em Engenharia Civil. Por isso, gostaria de agradecer a todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse objetivo, sobretudo neste último ano – no qual contei com o apoio de diversas pessoas das quais me sinto honrado.

Gostaria de agradecer a minha família, pela confiança atribuída e pelo incentivo à educação.

Agradeço aos meus amigos, que compreenderam minha ausência em muitos momentos e também me apoiaram para esta conquista e, em especial a Carla Kamphorst – que me auxiliou na formatação deste trabalho.

Agradeço também a toda equipe da empresa PAP Urbanizadora, a qual contribuiu exponencialmente em minha formação profissional. Durante o período de planejamento e desenvolvimento do meu trabalho de conclusão, foi muito importante à colaboração de toda equipe de Engenharia, da qual recebi incentivo e colaboração, em especial do laboratorista Sr. Jair Antônio Brum Souza.

Muito obrigado a empresa Pavesys Engenharia, por me apoiar e incentivar a pesquisa, sobretudo nos testes de microtextura e macrotextura, com o empréstimo de materiais para a realização dos ensaios.

Foi uma honra de contar com o apoio no desenvolvimento dos testes de macrotextura e microtextura do Ms. Paulo César Pinto, que juntamente com meu orientador, Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos, foi possível a publicação dos artigos “Avaliação da aderência-pneu pavimento em revestimentos do tipo *Cape Seal*, CBUQ, Micro e Concreto” e “Caracterização da macrotextura e microtextura em diferentes revestimentos rodoviários”, sendo o último publicado e apresentado no IX CCTEC Univates”.

A colaboração do meu orientador, Dr. João Guerreiro Mattos, foi essencial neste período final da graduação, pois conseguimos atingir metas maiores que as planejadas neste trabalho, como os artigos publicados. Agradeço imensamente.

RESUMO

O revestimento asfáltico mais utilizado é o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), entretanto, com o surgimento de novas técnicas e materiais foram surgindo novas alternativas de revestimentos, buscando sempre o conforto e a qualidade do pavimento. Desde o início da década de 2000, o Brasil tem o conhecimento da técnica *Cape Seal*, que se consiste em um tratamento superficial com o microrrevestimento asfáltico executado na sequência. Porém, no Brasil, ainda há pouco conhecimento científico desta nova tecnologia de revestimento *Cape Seal*, que já vem sendo amplamente empregada em países como África do Sul, Austrália e Nova Zelândia. Nesta pesquisa, realizada num Condomínio Residencial de baixo volume de tráfego, foram selecionados dois pequenos trechos experimentais com as mesmas características estruturais do pavimento (subleito com material argiloso; sub-base em rachão e base em BGS), porém com revestimentos diferentes: CBUQ e *Cape Seal*. Para caracterizar o solo do subleito, realizaram os ensaios básicos de laboratório (granulometria, proctor, limites de Atterberg e ISC). Já para avaliar os dois trechos experimentais quanto à segurança, realizaram-se os seguintes ensaios de campo: macrotextura e microtextura da superfície, medidas com a mancha de areia e pêndulo britânico, respectivamente. Ainda, como os pavimentos foram a recém executados, não foi necessária avaliação de defeitos superficiais, então realizou-se apenas a avaliação estrutural dos mesmos através de levantamento defletométrico com a viga Benkelman. Nos resultados obtidos, tanto o revestimento do tipo *Cape Seal* quanto o revestimento do tipo CBUQ obtiveram classificação média da macrotextura analisada, entretanto o mesmo não aconteceu com a microtextura onde houve variação entre os revestimentos, sendo o *Cape Seal* classificado como rugoso e o CBUQ como muito rugoso. Na análise deflectométrica, o CBUQ apresentou menores variações, entretanto, ambos revestimentos encontraram-se dentro das faixas de deflexões admissíveis pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Palavras-chave: Pavimentação. Revestimento asfáltico. CBUQ. *Cape Seal*.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação AASHTO de comportamento de solos.....	29
Quadro 2 – Classificação SUCS de comportamento de solos	29
Quadro 3 – Granulometria do material de base	31
Quadro 4 – Requisitos granulométricos para o CBUQ.....	33
Quadro 5 – Granulometria indicada para o TSD	35
Quadro 6 – Composição granulométrica do MRAF	36
Quadro 7 – Fatores de ponderação (fp)	46
Quadro 8 – Classificação do ICPF	48
Quadro 9 – Determinação do IES	49
Quadro 10 – Avaliação do VSA.....	50
Quadro 11 – Influência dos diversos tipos de textura existentes.....	61
Quadro 12 – Classificação geral das macrotexturas	62
Quadro 13 – Classificação do solo.....	70
Quadro 14 – Análise granulométrica da base	72
Quadro 15 – Análise granulométrica do CBUQ.....	73
Quadro 16 – Análise granulométrica do MRAF	74
Quadro 17 – Análise granulométrica do TSD	75
Quadro 18 – Leituras da aferição da viga Benkelman.....	83
Quadro 19 – Cálculos obtidos após aferição.....	85
Quadro 20 – Intervalos de confiança em função dos braços da viga	86
Quadro 21 – Tabela a preencher com dados da deflexão	88
Quadro 22 – Resultado do levantamento do ensaio da macrotextura – Revestimento em CBUQ.....	92

Quadro 23 – Resultado do levantamento do ensaio da macrotextura – Revestimento em Cape Seal.....	93
Quadro 24 – Análise das amostras dos revestimentos CBUQ e <i>Cape Seal</i> (macrotextura)	95
Quadro 25 – Resultado da microtextura no revestimento tipo CBUQ	96
Quadro 26 – Resultado da microtextura no revestimento tipo <i>Cape Seal</i>	97
Quadro 27 – Análise estatística dos revestimentos CBUQ e <i>Cape Seal</i> (microtextura)	98
Quadro 28 – Leitura deflectométrica obtida no ensaio do revestimento CBUQ	101
Quadro 29 – Leitura deflectométrica obtida no ensaio do revestimento <i>Cape Seal</i> /	101

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentual de rodovias pavimentadas e não pavimentadas no Brasil	22
Gráfico 2 – Classificação geral das rodovias.....	23
Gráfico 3 – Média deflectométrica baseado em demais registros bibliográficos	59
Gráfico 4 – Comparativo da macrotextura obtido em demais registros bibliográficos	63
Gráfico 5 – Comparativo da microtextura obtida em registros bibliográficos	65
Gráfico 6 – Curva granulométrica da base	72
Gráfico 7 – Curva granulométrica do CBUQ	74
Gráfico 8 – Curva granulométrica MRAF	75
Gráfico 9 – Análise granulométrica do TSD	76
Gráfico 10 – Classificação da macrotextura no CBUQ.....	93
Gráfico 11 – Classificação da macrotextura no <i>Cape Seal</i>	93
Gráfico 12 – Análise <i>Box Plot</i> do ensaio de macrotextura.....	95
Gráfico 13 – Classificação da microtextura do revestimento do tipo CBUQ.....	97
Gráfico 14 – Classificação da microtextura do revestimento do tipo <i>Cape Seal</i>	97
Gráfico 15 – Análise <i>Box Plot</i> do ensaio de microtextura.....	99
Gráfico 16 – Gráfico das deflexões encontradas para os revestimentos analisados	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da pesquisa	19
Figura 2 – Ábaco de dimensionamento	25
Figura 3 – Estrutura típica do pavimento flexível.....	27
Figura 4 – Fases de execução do TSS e TSD	34
Figura 5 – Processo de usinagem do CBUQ.....	41
Figura 6 – Execução da mistura asfáltica.....	42
Figura 7 – Execução do MRAF	43
Figura 8 – Avaliação objetiva em pista simples.....	45
Figura 9 – Perfil Longitudinal.....	51
Figura 10 – Sondagem rotativa de pavimento (método destrutivo)	53
Figura 11 – Funcionamento do equipamento FWD.....	55
Figura 12 – Leitura da Viga Benkelman	57
Figura 13 – Localização do pavimento a ser analisado.....	67
Figura 14 – Mapa de Solos de Lajeado e região.....	68
Figura 15 – Material argiloso oriundo do subleito.....	68
Figura 16 – Ensaio de compactação	69
Figura 17 – Rachão proveniente da detonação de pedra.....	70
Figura 18 – Classificação dos agregados.....	71
Figura 19 – Acompanhamento da etapa de execução da base	71
Figura 20 – Sequência da execução do teste de sondagem.....	77
Figura 21 – Sondagem CBUQ x <i>Cape Seal</i> (Vista Superior)	77
Figura 22 – Sondagem CBUQ x <i>Cape Seal</i> (Vista Lateral)	78

Figura 23 – Delimitação dos pontos analisados nos ensaios de macrotextura e microtextura.....	79
Figura 24 – Leitura do ensaio da Mancha de Areia.....	80
Figura 25 – Leitura do Pêndulo Britânico	81
Figura 26 – Princípio de funcionamento da viga Benkelman.....	87
Figura 27 – Leitura inicial da viga no extensômetro	88
Figura 28 – Ábaco - deflexões admissíveis para o CBUQ.....	89
Figura 29 – Aspecto visual da macrotextura dos revestimentos	92
Figura 30 – Ajuste do extensômetro.....	100
Figura 31 – Leitura final do extensômetro	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espessuras mínimas para dimensionamento	25
Tabela 2 – Valores de coeficiente de equivalência estrutural (K).....	26
Tabela 3 – Classificação do IGG.....	47
Tabela 4 – Classificação do pavimento, conforme irregularidade	52
Tabela 5 – Classificação das texturas.....	60
Tabela 6 – Classificação à derrapagem conforme VRD.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO -	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
BPN -	British Pendulum Number
BPR -	<i>Bureau of Public Road</i>
CAP -	Concreto Asfáltico de Petróleo
CBR -	<i>California Bearing Ratio</i> - Índice de Suporte Califórnia
CBUQ -	Concreto Betuminoso Asfáltico
CNT -	Confederação Nacional do Transporte
CPD -	Cone de Penetração Dinâmica
DER-PR -	Departamento Estradas e Rodagem do Paraná
DER-SP	Departamento Estradas e Rodagem de São Paulo
DNER -	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT -	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ES-	Especificação de Serviço
ESPD -	Eixo Rodoviário Padrão
ESRD-	Eixo Simples de Rodado Duplo
FC -	Fator de Eixo
FE -	Fator de Carga
FP -	Fator de Ponderação
FV -	Fator de Veículo
FWD -	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
IGG -	Índice Geral de Grupo
IGI -	Índice de Gravidade Individual

IPCF -	Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis
IP-	Instrução de Projeto
IPR -	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
LVC -	Levantamento Visual Contínuo
ME-	Método de Ensaio
MRAF (ou MR) -	Microrrevestimento Asfáltico a Frio
PRO -	Procedimento de ensaio
psi-	(<i>pound force per square inch</i>), polegada quadrada
QI -	Quociente de Irregularidade
SUCS -	Sistema Unificado de Classificação de Solos
SNV -	Sistema Nacional de Viação
TSD -	Tratamento Superficial Duplo
TSQ -	Tratamento Superficial Quádruplo
TSS -	Tratamento Superficial Simples
TST -	Tratamento Superficial Triplo
USP-	Universidade de São Paulo
VRD -	Valor de Resistência a Derrapagem
V _m -	Volume médio
V _t -	Valor total de tráfego
VSA -	Valor de Serventia Atual

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos	18
1.1.1 Objetivo geral.....	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
1.2 Delimitação	18
1.3 Relevância do estudo e justificativa	19
1.4 Estrutura da pesquisa.....	19
2 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	21
2.1 Situação da pavimentação no Brasil	21
2.2 Dimensionamento do pavimento flexível	23
2.3 Camadas do revestimento asfáltico	27
2.3.1 Subleito	28
2.3.2 Sub-base	30
2.3.3 Base.....	30
2.4 A importância do revestimento no pavimento asfáltico	31
2.5 Tipos de revestimentos asfálticos	32
2.5.1 Concreto Betuminoso a Quente (CBUQ).....	32
2.5.2 Tratamento superficial	33
2.5.3 Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF).....	36
2.5.4 <i>Cape Seal</i>	38
2.5.5 Comparativo entre os revestimentos TSD, <i>Cape Seal</i> e CBUQ.....	39
2.6 Preparo e execução das misturas asfálticas	40

2.6.1 Preparo e execução do CBUQ.....	40
2.6.2 Preparo e execução do MRAF	42
2.7 Avaliação de pavimentos.....	43
2.7.1 Avaliação funcional.....	44
2.7.1.1 Avaliação funcional objetiva	44
2.7.1.2 Avaliação funcional objetiva expedita (LVC)	47
2.7.1.3 Avaliação funcional subjetiva	49
2.7.1.4 Avaliação funcional da irregularidade longitudinal.....	50
2.7.2 Avaliação estrutural	52
2.7.2.1 Avaliação estrutural – método destrutivo	52
2.7.2.2 Método não destrutivo	54
2.7.2.2.1 Equipamentos não destrutivos mais utilizados no Brasil	54
2.8 Avaliação de segurança (interação pneu-revestimento)	59
2.8.1 Textura do revestimento.....	59
2.8.1.1 Macrotextura.....	61
2.8.1.1.1 Análise da macrotextura encontrada em literaturas	62
2.8.1.2 Microtextura.....	63
2.8.1.2.1 Resultados obtidos de microtextura em literaturas	64
 3 MATERIAIS E MÉTODOS	 66
3.1 Descrição da obra analisada	66
3.2 Métodos.....	67
3.2.1 Caracterização do subleito	67
3.2.2 Caracterização da sub-base	70
3.2.3 Caracterização da base.....	71
3.2.4 Classificação do revestimento em CBUQ	73
3.2.5 Classificação do revestimento em <i>Cape Seal</i>	74
3.2.6 Análise estrutural do pavimento	76
3.3 Materiais.....	78
3.3.1 Ensaio de Mancha de Areia	79
3.3.2 Pêndulo Britânico.....	80
3.3.3 Viga Benkelman.....	82
3.3.3.1 Aferição da viga Benkelman.....	82
3.3.3.2 Funcionamento da viga Benkelman	86

4 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE RESULTADOS	91
4.1 Levantamento e análise da macrotextura	91
4.2 Levantamento de microtextura	96
4.3 Ensaio de deflexão	99
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
5.1 Análise da macrotextura	103
5.2 Análise da microtextura	104
5.3 Análise deflectométrica	104
5.4 Sugestões de trabalhos futuros	104
REFERÊNCIAS	106
ANEXOS	117

1 INTRODUÇÃO

Numa obra de pavimentação, percebe-se que o revestimento é o material mais nobre e resistente empregado na estrutura, pois é sobre a camada de revestimento que cargas diversas são aplicadas diretamente, causando danos ao pavimento. São diversos os tipos de revestimentos asfálticos, entre eles: a mistura asfáltica a quente, a mistura asfáltica a frio, a mistura reciclada a quente, o tratamento superficial e o microrrevestimento. É possível fazer uma conjugação de técnicas, como é o caso da junção do microrrevestimento asfáltico com o tratamento superficial, formando a técnica do *Cape Seal*.

De grande aplicabilidade nas estradas brasileiras, o revestimento asfáltico mais utilizado no Brasil é o Concreto Betuminoso Asfáltico (CBUQ), que apresenta diversas vantagens, como sua característica impermeabilizante, forte união dos agregados e alta resistência ao tráfego de veículos. Apesar das múltiplas vantagens do CBUQ há de se levar em conta que seu custo é muito elevado, chegando a ser três vezes mais caro se comparado a revestimentos alternativos, como é o caso do *Cape Seal* – que possui características similares às do CBUQ, porém sua aplicabilidade restringe-se ao tráfego de veículos leve e médio.

Visando ampliar o conhecimento de tecnologias de pavimentação asfáltica aos empresários do ramo de pavimentação e demais profissionais da área, este trabalho abordará um comparativo entre o revestimento asfáltico CBUQ e o *Cape Seal*, que apesar de possuir grande aplicabilidade em países como a África do Sul, Austrália e Nova Zelândia, vem sendo pouco difundido no Brasil.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar um comparativo em dois trechos experimentais executados apenas com revestimentos diferentes: um com CBUQ e o outro com *Cape Seal*.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atender ao objetivo geral deste trabalho, determinaram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar a macrotextura da superfície por meio do ensaio de Mancha de Areia;
- b) Analisar a microtextura da superfície por meio do ensaio de Pêndulo Britânico;
- c) Analisar o comportamento estrutural dos pavimentos por meio do levantamento defletoométrico utilizando a viga Benkelman; e
- d) Realizar uma comparação entre os dois trechos experimentais estudados.

1.2 Delimitação

O trabalho consiste na análise entre o revestimento CBUQ e o *Cape Seal* sobre trechos experimentais novos com a mesma estrutura para as camadas inferiores do pavimento. Devido à limitação de tempo, não será possível monitorar o desempenho dos trechos com o passar dos anos.

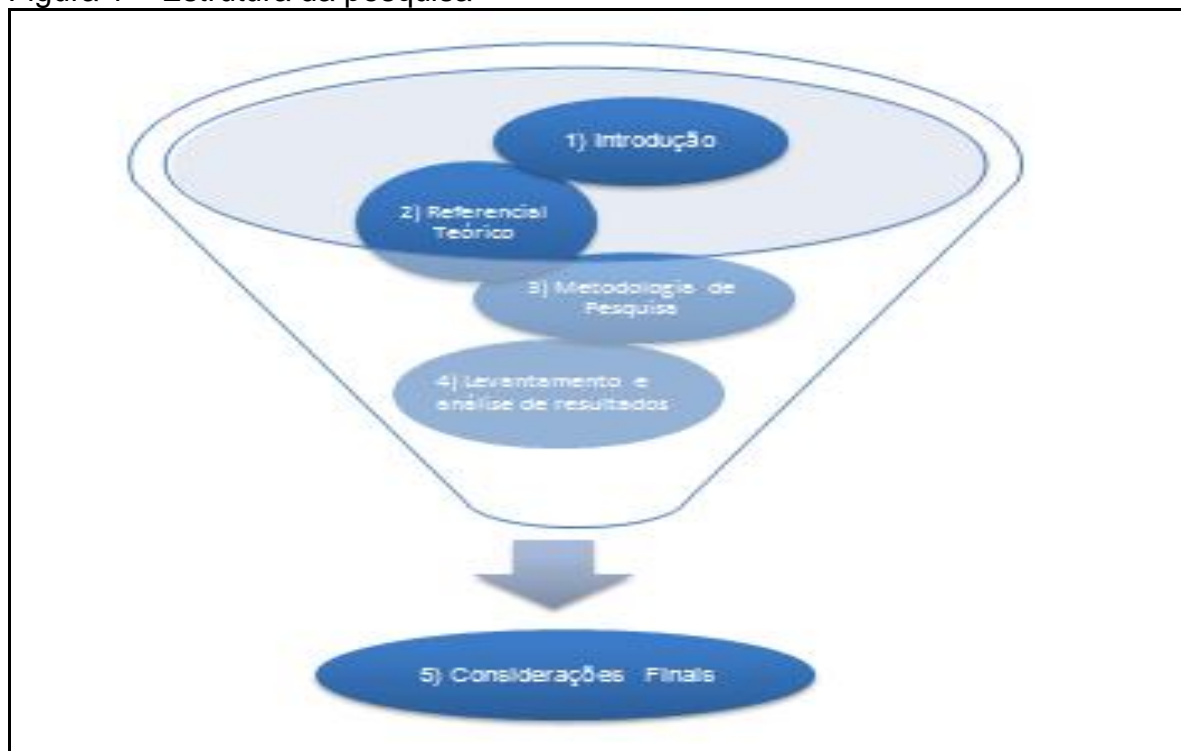
1.3 Relevância do estudo e justificativa

Nota-se a necessidade de conhecimento técnico-científico de novas tecnologias para melhorar a qualidade de revestimentos existentes, sobretudo do CBUQ – de grande aplicabilidade em todo o país. Com base na tecnologia de revestimento asfáltico denominada *Cape Seal*, a ideia deste trabalho visa motivar demais profissionais a aplicarem o material em tratamento superficial duplo (TSD) de forma econômica e eficaz. Se comprovada, ao término desta pesquisa que o uso do *Cape Seal* possui características melhores ou muito similares ao revestimento de CBUQ, então será possível o seu uso como uma alternativa ao CBUQ em obras de pavimentação de baixo volume de tráfego.

1.4 Estrutura da pesquisa

Esta pesquisa está estruturada conforme a Figura 1:

Figura 1 – Estrutura da pesquisa



Fonte: Do autor.

No Capítulo 2, encontra-se o referencial teórico da pesquisa, com informações relacionadas à situação dos pavimentos brasileiros, dimensionamento

de pavimento e suas camadas, além da avaliação do pavimento e aspectos relacionados à avaliação da segurança da camada asfáltica.

No capítulo 3, abordam-se os materiais e métodos empregados na pesquisa, onde é feita a descrição da obra, bem como caracterização das camadas da estrutura do pavimento e ensaios realizados.

O Capítulo 4 trata dos levantamentos e análises dos resultados, realizados conforme os procedimentos estabelecidos na etapa de materiais e métodos.

Por fim, no Capítulo 5, encontra-se a etapa mais importante desta pesquisa: a conclusão, que traz as principais contribuições da pesquisa realizada através dos ensaios e análises feitas.

2 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Este capítulo apresenta uma breve descrição sobre a situação da malha rodoviária no país, de modo a fundamentar a importância dos pavimentos, bem como sua estrutura. São abordados tópicos como o dimensionamento dos pavimentos; a importância dos revestimentos asfálticos; tipos de revestimentos a abordar nesta pesquisa (*Cape Seal* e CBUQ) e os critérios de avaliação dos pavimentos asfálticos.

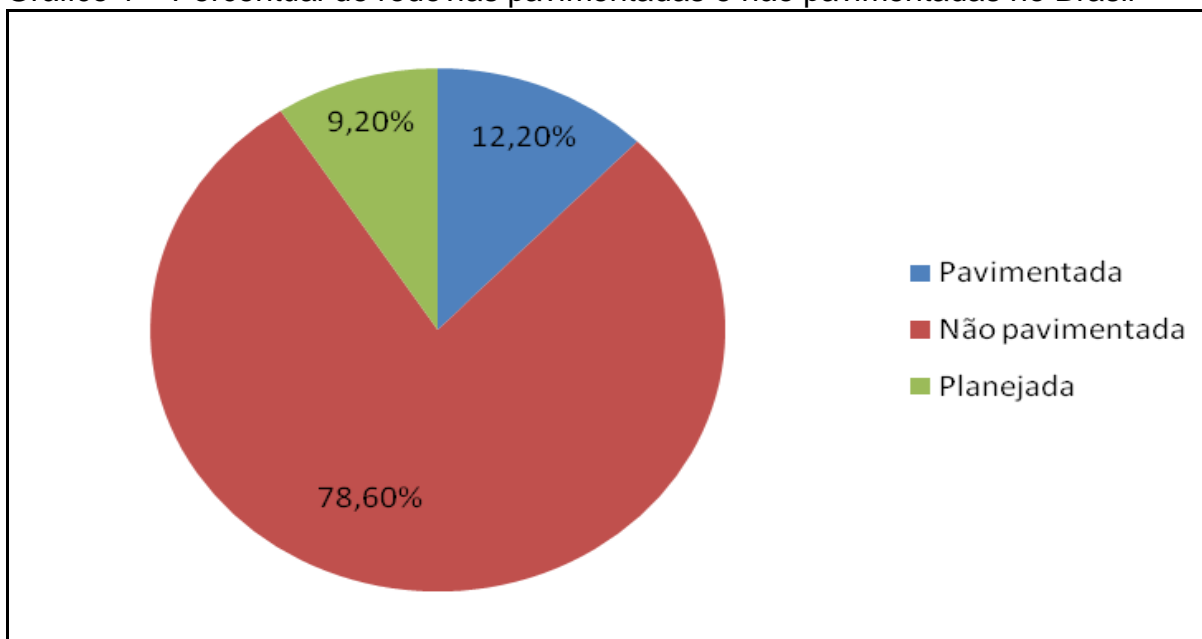
2.1 Situação da pavimentação no Brasil

Entre os diversos tipos de modais de transporte existentes no país (rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo), a preferência dos governantes brasileiros é pelo uso do modal rodoviário, que na concepção, está ligado à idéia de desenvolvimento do país (HUBER *apud* MARTINS, 2013).

Apesar de o modal rodoviário ter preferência no setor de transportes brasileiro, há um índice muito baixo de densidade de malha rodoviária se comparado a países como EUA, China, Argentina, Austrália e outros países (CNT, 2014).

No Gráfico 1, elaborado pelo Sistema Nacional de Viação (2015), percebe-se que apenas 12,2% (210618,80 km²) das rodovias do país são pavimentadas e que há uma projeção de 9,2% (157560,90 km²) de investimentos rodoviários, tanto para vias da rede federal, quanto estadual e municipal.

Gráfico 1 – Percentual de rodovias pavimentadas e não pavimentadas no Brasil

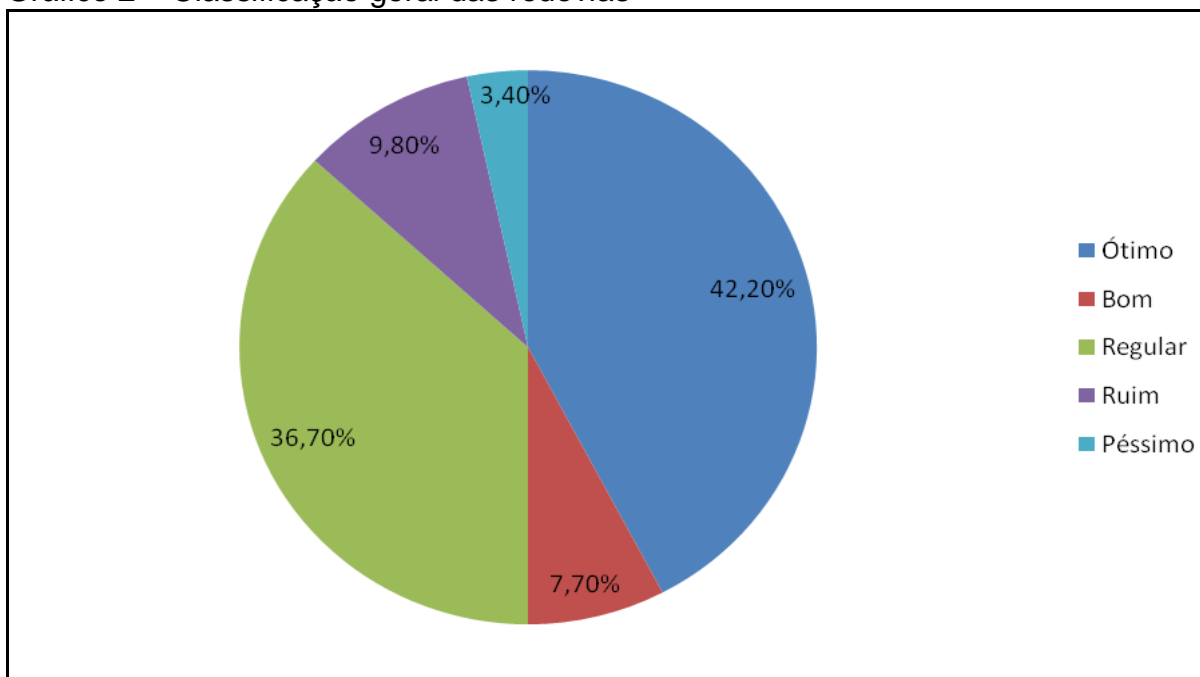


Fonte: SNV (2015).

Outro fator que deve ser levado em consideração quando o assunto for pavimentação é a qualidade do pavimento. pois está diretamente associada à segurança viária. No Gráfico 2 percebe-se que a qualidade das rodovias pavimentadas encontra-se, em 49,90% em condições entre péssimas e regulares. O levantamento contido na figura foi feito considerando aspectos como irregularidades na superfície do pavimento, buracos, trechos destruídos e ausência de acostamento.

Os resultados contidos no Gráfico 2 apresentam a avaliação geral dos pavimentos em todos os Estados do Brasil realizado pela CNT, cuja equipe de técnicos contou com vinte avaliadores, sendo que 17 atuaram em rotas de pesquisa, dois em rotas de apoio e uma equipe de checagem. Na avaliação, foi considerada a extensão total da malha rodoviária do país, cuja classificação se dá em cinco categorias – variando de péssimo a ótimo.

Gráfico 2 – Classificação geral das rodovias



Fonte: CNT (2014).

2.2 Dimensionamento do pavimento flexível

Apesar de antigo, o método de dimensionamento do DNER foi proposto pelo engenheiro Murilo Lopes de Souza em 1966, e consiste numa abordagem empírica, baseado no Índice de Suporte Califórnia (CBR) e pelo número equivalente de eixo rodoviário padrão de eixo simples de rodado duplo (ESRD) de 8,2 tf durante um período de projeto. Este valor é mais conhecido pelo “número N”. Embora há muito tempo venha sendo utilizada, essa metodologia de dimensionamento encontra-se ultrapassada, não contemplando conhecimentos modernos da mecânica dos pavimentos (MARQUES, 2014).

O dimensionamento de um pavimento começa a partir do ensaio de CBR, conforme pode ser visto na metodologia deste trabalho (item 3.1.1), onde se obtém o valor do CBR por meio da fórmula, conforme IPR-719/DNIT (2006):

$$\text{CBR} = (\text{Pressão calculada ou pressão corrigida} / \text{pressão padrão}) \cdot 100$$

Para o cálculo do CBR final, registram-se os valores dos índices de Suporte Califórnia (CBR) obtidos, correspondentes aos valores das unidades que serviram para a construção da curva de compactação.

Conforme a IPR-719/DNIT (2006), os materiais quanto à sua expansão, devem apresentar em suas camadas:

- materiais do subleito: expansão $\leq 2\%$ e CBR $\geq 2\%$
- materiais para reforço do subleito: expansão $\leq 1\%$ CBR > subleito
- materiais da sub-base: expansão $\leq 1\%$ e CBR $\geq 20\%$
- materiais para base: expansão $\leq 0,5\%$ e CBR $\geq 80\%$, além de limite de liquidez $\leq 25\%$ e índice de plasticidade $\leq 6\%$

Além do CBR, outro aspecto que deve ser levado em consideração é o fator de tráfegabilidade (número N), cujo volume de tráfego é feito pelo volume médio diário (Vm) durante um período estimado de P anos, sendo usual estipular um valor P=10 anos em virtude do tempo médio de vida de um pavimento. O valor “t”, contido na equação a seguir, relata uma taxa de progressão geométrica, de acordo com a IPR-719/DNIT (2006):

$$V_m = V_1 [2 + (P-1)t/100] / 2$$

Em seguida, é calculado o valor total do tráfego (Vt), durante o período estimado, por meio da seguinte equação:

$$V_t = 365 * V_1 [(1+t/100)^P - 1]$$

Conhecido o valor de Vt, calcula-se o valor do número N, onde F.E é o fator de eixo; F.C é o fator de carga e F.V é o fator de veículo, ou seja, um número que multiplicando pelo número de veículos que operam, resulta no número de eixos equivalentes ao eixo padrão, conforme as fórmulas a seguir:

$$N = V_t * (F^*E) * (F^*C) (F^*E) * (F^*C) = FV$$

$$N = V_t * (FV)$$

O valor do número N é um fator determinante para a obtenção da espessura mínima do revestimento, pois de acordo com seu volume de tráfego, é possível determinar a espessura do revestimento asfáltico, conforme a Tabela 1.

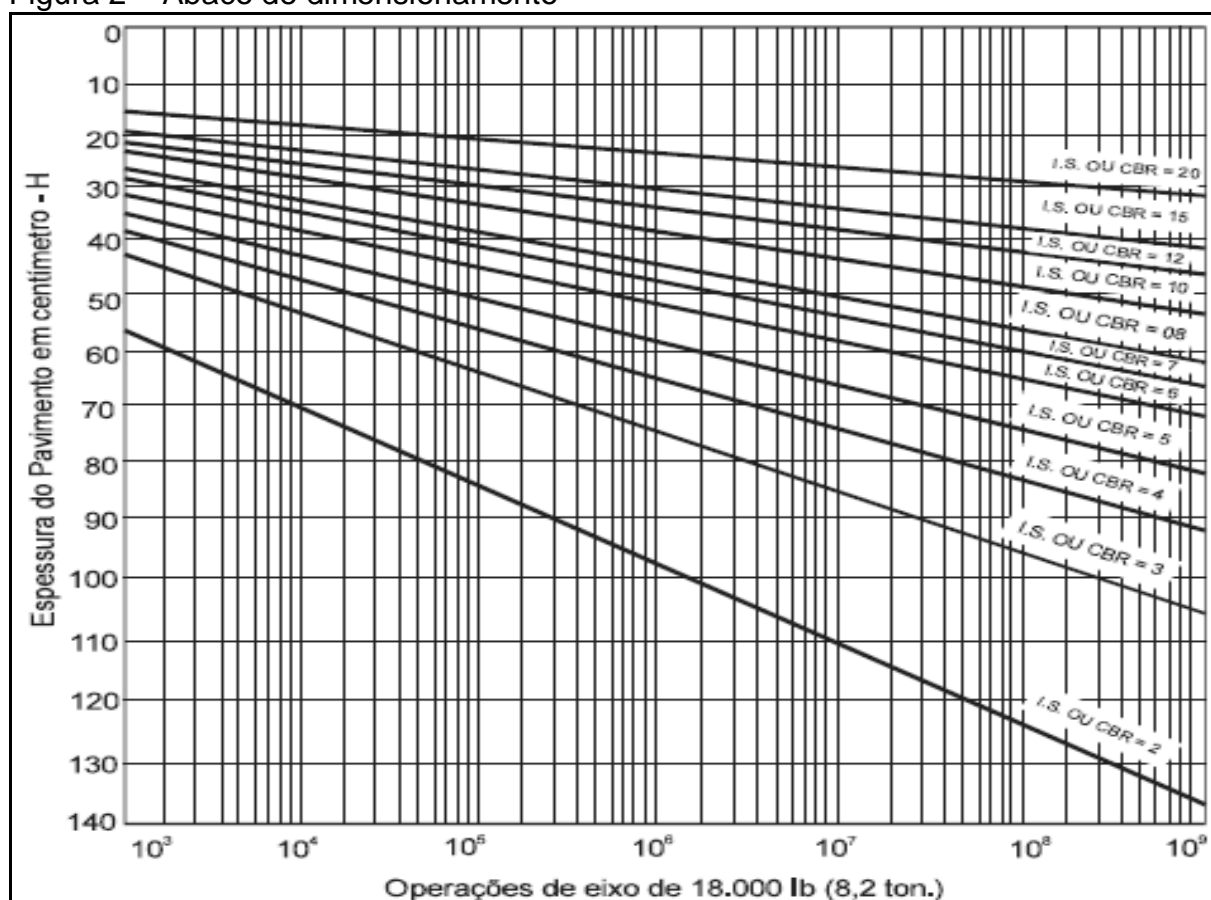
Tabela 1 – Espessuras mínimas para dimensionamento

N	Espessura mínima de revestimento betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$5 \times 10^6 < N \leq 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5cm de espessura

Fonte: IPR-719/DNIT (2006)

Com os valores obtidos por meio do ensaio de CBR e através do cálculo do número N, é possível determinar a espessura do pavimento, com base no ábaco de dimensionamento (FIGURA 2), extraído da IPR-719/DNIT (2006).

Figura 2 – Ábaco de dimensionamento



Fonte: IPR-719/DNIT (2006).

Cabe ao projetista definir quais os materiais que serão utilizados no projeto de pavimentação. Porém, dependendo do tipo de material adotado, devem ser utilizados como parâmetro de cálculo os valores K (coeficiente de equivalência estrutural), contidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de coeficiente de equivalência estrutural (K)

K	Componentes do pavimento
2,00	Base ou revestimento de concreto betuminoso
1,70	Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa
1,40	Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa
1,20	Base ou revestimento betuminoso por penetração
1,00	Camadas granulares
1,70	Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45kg/cm
1,40	Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 45kg/cm a 28kg/cm
1,20	Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 28kg/cm e 21kg/cm

Fonte: IPR-719/DNIT (2006).

De posse dos dados obtidos por meio da Tabela 1, da Figura 2 e da Tabela 2 é possível fazer o dimensionamento do pavimento por meio das inequações abaixo, de acordo com IPR-719/DNIT (2006):

$$R.K_R + B.K_B \geq H_{20} \quad (1)$$

$$(R.K_R) + (B.K_B) + (h_{20}.K_S) \geq H_n \quad (2)$$

$$(R.K_R) + (B.K_B) + (h_{20}.K_S) + (H_n.K_{REF}) \geq H_m \quad (3)$$

Onde:

R: espessura da camada de revestimento

K_R : coeficientes de equivalência estrutural do revestimento

B: espessura da camada de base

K_B : coeficientes de equivalência estrutural da base

H_{20} : espessura obtida no ábaco, relativa a um valor de CBR de 20%

h_{20} : espessura da camada de sub-base

K_S : coeficientes de equivalência estrutural da camada de sub-base

H_n : espessura obtida no ábaco, relativa a um valor de CBR do reforço de subleito

h_n : espessura da camada de reforço de subleito

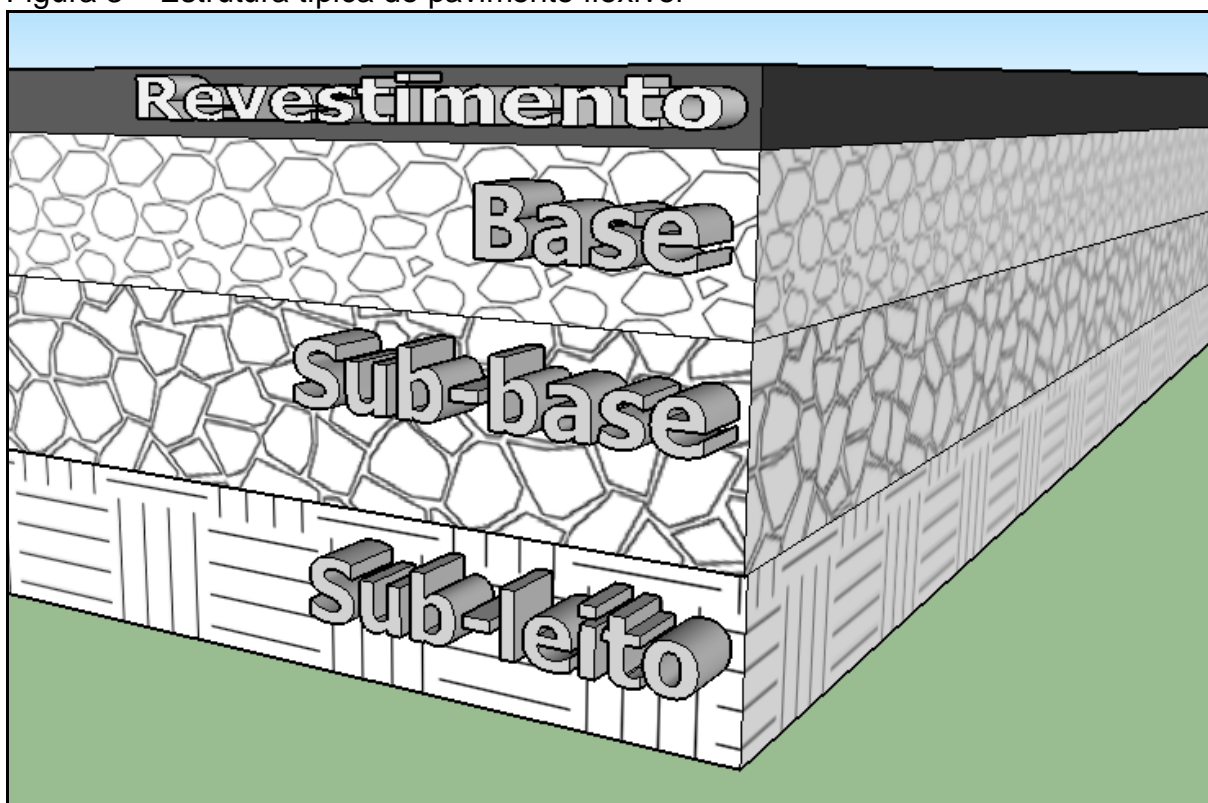
K_{ref} : coeficientes de equivalência estrutural do reforço de subleito

H_m : espessura obtida no ábaco, relativa a um valor de CBR do subleito

2.3 Camadas do revestimento asfáltico

A estrutura típica de um pavimento consiste nas camadas de revestimento; base; sub-base e subleito (FIGURA 3), sendo necessária a camada de reforço do sub-leito apenas em casos nos quais o solo natural não apresentar boa capacidade de suporte.

Figura 3 – Estrutura típica do pavimento flexível



Fonte: Do autor.

2.3.1 Subleito

De acordo com a ES-137/DNIT (2010), a regularização do subleito trata-se de uma operação destinada a conformar o leito estradal, transversal e longitudinal, obedecendo às larguras e cotas constantes das notas de serviço de regularização de terraplenagem do projeto, compreendendo cortes ou aterros de até 20 cm de espessura.

Segundo Levy (2009), o subleito é uma camada bastante exigida pela transmissão de esforços do pavimento ao solo, entretanto, antes de iniciar a constituição das camadas do pavimento é necessário que se conheça as características do solo por meio de sondagens e ensaios de caracterização do solo superficial mediante a realização de ensaios de limites de liquidez, limite de plasticidade e análise granulométrica.

Ainda, de acordo com Levy (2009), é necessário que na fase de execução aconteça o acompanhamento da compactação da camada por meio do ensaio de compactação, densidade *in situ* e umidade *in situ*, devendo ocorrer à liberação da camada somente quando parâmetros de projeto forem alcançados.

Conforme ES-137/DNIT (2010), os materiais constituintes do reforço do subleito deverão ser, preferencialmente, os do próprio subleito que apresentar a melhor capacidade de suporte e expansão $\leq 2\%$. Além disso, quando o subleito for submetido ao ensaio de caracterização não se devem ter partículas com diâmetro máximo acima de 76 mm – correspondente a três polegadas - e o índice de grupo deverá ser igual ao subleito indicado em projeto.

Em uma obra de pavimentação, é de extrema importância o conhecimento do comportamento do solo, e isso pode ser obtido por meio de dois sistemas – sendo um deles o sistema AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*, cuja classificação pode ser vista no Quadro 1 (que mostra a classificação dos solos). No quadro, faz-se o processo de eliminação da esquerda para a direita e o primeiro grupo a partir da esquerda, com o qual se os valores do coincidirem, tem-se a classificação correta (KNIPHOFF *apud* BRASIL, 2012).

Quadro 1 – Classificação AASHTO de comportamento de solos

Classificação geral	MATERIAIS ARGILOSOS: 35% (ou menos) passando na peneira nº200							MATERIAIS SILTO-ARGILOSOS			
Classificação em grupos	A-1		A-3	A-2							
Granulometria % passando na peneira	A-1-A	A-1-B			A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6
Nº10	50 máx										
Nº40	30 máx	30 máx	51 mín								
Nº200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características da fração passando na peneira nº40											
Limite de liquidez				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	40 máx	40 máx	41 mín
Índice de plasticidade	6 máx	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* = O IP do grupo A-7-5 é ≤LL < 30

* = O IP do grupo A-7-5 é $\leq LL < 30$

Fonte: IPR-719/DNIT (2006)

O segundo sistema de classificação de solos trata-se do SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos), no qual o primeiro aspecto é a porcentagem de finos presentes no solo, sendo que quando a quantidade de finos for menor que 50%, o solo classifica-se como graduação grosseira, e quando for maior que 50%, o solo classifica-se como graduação fina. No Quadro 2 pode-se visualizar o sistema.

Quadro 2 – Classificação SUCS de comportamento de solos

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº200	Pedregulhos 50% ou mais da fração graúda retina na peneira nº 4	Pedregulhos sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped. com pouco ou nenhum fino
			GP	Pedregulhos mal graduados ou misturas de areia e ped. com pouco ou nenhum fino
		Pedregulhos com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped.areia e silte
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped.areia e argila
	Pedregulhos 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4	Areia sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino
			SP	Areias mal graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino
		Areia com finos	SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte
			SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira nº200	Siltos e Argilas com $LL \leq 50$		ML	Siltos inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilosas
			CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas
			OL	Siltos orgânicas - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade
	Siltos e Argilas com $LL \geq 50$		MH	Siltos - Areias finas ou siltos micáceos - Siltos elásticos
			CH	Argilas inorgânicas de alta e média plasticidade
			OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade
	Solos altamente orgânicos		PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos

Fonte: IPR-719/DNIT (2006)

2.3.2 Sub-base

A sub-base constitui-se da camada superior ao subleito ou reforço do subleito e apresenta funções idênticas à base, podendo ser constituída por solos, areias, seixos, pedregulhos, produtos de britagem de rochas ou resíduos de entulho (LA SERNA e REZENDE, 2009).

Conforme ES-139/DNIT (2010), os materiais da sub-base deverão apresentar as seguintes características:

- índice de Grupo (IG) igual a zero
- fração retida na peneira nº 10 no ensaio de granulometria constituída de partículas duras (isentas de fragmentos moles, material orgânico ou outras substancias prejudiciais)
- índice de Suporte Califórnia (ISC) $\geq 20\%$, determinada por ensaios
- expansão $\leq 1\%$, determinada por ensaios e também para solos lateríticos, os materiais podem apresentar Índice de Grupo (IG) diferente de zero e expansão $>1\%$, desde que o ensaio de expansibilidade apresente valor inferior a 10%

2.3.3 Base

De acordo com Matos e Benkendorf *apud* Hunter e Conrado (2010, p. 17),

A base tem como finalidade distribuir as cargas aplicadas na superfície, para não exceder a capacidade de suporte do subleito. Para que isso seja possível deve apresentar características determinadas para as bases de pavimento.

Os materiais utilizados em camadas de base podem ser solos, misturas de solos e materiais britados, devendo possuir composição granulométrica conformidade o Quadro 3, extraído da ES-141/DNIT (2010).

Quadro 3 – Granulometria do material de base

Peneiras	N > 5x10				N<5x10		Tolerância da faixa de projeto
	% em peso passando						
	A	B	C	D	E	F	
2"	100	100	-	-	-	-	±7
1"	-	75-90	100	100	100	100	±7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	±7
Nº4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	±5
Nº10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	±5
Nº40	8-20	15-30	15-30	20-50	20-50	30-70	±2
Nº200	2-8	5-15	5-15	6-20	6-20	8-25	±2

Fonte: ES-141/DNIT(2010).

A ES-141/DNIT(2010) estipula os valores do Índice de Suporte Califórnia (ISC) com base no número N, onde deve se ter:

- $ISC \geq 60\%$ para Número $N \leq 5 \times 10^6$
- $ISC \geq 80\%$ para Número $N > 5 \times 10^6$
- Expansão $\leq 0,5\%$

2.4 A importância do revestimento no pavimento asfáltico

Estima-se que mais de 90% das estradas brasileiras pavimentadas são de revestimento asfáltico, sendo o concreto betuminoso (CBUQ) o revestimento mais empregado. Além disso, o CBUQ é utilizado em rodovias de tráfego mais intenso, de forma mais econômica. As misturas asfálticas usinadas a frio são indicadas para revestimento de ruas e estradas de baixo volume de tráfego (NAKAMURA, 2011).

O revestimento asfáltico, além das funções primordiais, que são de promover conforto e segurança ao usuário, deve ser resistente o bastante para suportar toda a carga que o tráfego exerce sobre ele (ANTOSCZEZEM JUNIOR, 2012).

Um revestimento asfáltico deve resistir aos esforços oriundos do tráfego e distribuí-los as camadas inferiores sem perder sua capacidade funcional. O controle do processo de produção e execução das misturas utilizadas nos revestimentos asfálticos contribui para pavimentos mais duráveis e de maior custo/benefício (BUDNY, 2009).

Para Senço (2008), o revestimento é a camada mais nobre do pavimento e como consequência, a camada de maior custo unitário, devendo ser executado com muito cuidado, de modo a garantir maior economia.

2.5 Tipos de revestimentos asfálticos

2.5.1 Concreto Betuminoso a Quente (CBUQ)

A primeira usina de CBUQ do Brasil foi instalada na cidade de Caxias do Sul em 1956, contando com a oferta de Concreto Asfáltico de Petróleo (CAP) produzido pela RPBC. A partir desse momento, o uso do CBUQ no mercado de pavimentação brasileiro se expandiu, sendo hoje o revestimento preferível em todo o país (ZAGONEL, 2013).

O concreto asfáltico trata-se de uma mistura asfáltica constituída de agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento e ligante asfáltico, os quais deverão ser feitos em usina apropriada segundo a ES-031/DNIT (2006).

A ES-015/DER-PR (2005) diz que, dependendo da posição relativa e função na estrutura, o CBUQ deve atender a características especiais, recebendo as seguintes designações: de camada de rolamento ou capa asfáltica para camada superior que recebe diretamente a ação do tráfego; camada de ligação (ou *binder*) para a camada abaixo da camada de rolamento ou camada de nivelamento (reperfilagem) para o serviço com massa asfáltica de graduação fina com a função de corrigir deformações ocorrentes na superfície de um antigo revestimento.

Conforme ES-031/DNIT (2006), os materiais empregados para o um revestimento em CBUQ devem atender os seguintes critérios como cimento asfáltico (CAP): 30/45; 50/70 ou 85/100; agregado graúdo com desgaste Los Angeles igual ou superior a 50%, índice de forma superior a 0,5 e durabilidade inferior a 12%; agregado miúdo (areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos), o qual deve ser resistente e livre de torrões de argila e de substâncias nocivas; material de enchimento (*filler*): deve estar seco e isento de grumos e deve ser constituído por materiais minerais, e quando não houver boa adesividade entre o ligante asfáltico e os agregados, pode ser empregado o melhorador de adesividade.

De acordo com a ES-031/DNIT (2006) mistura granulométrica deve satisfazer os requisitos do Quadro 4, sendo que no projeto de curva granulométrica deve ser considerada a segurança do usuário, que consiste no valor de resistência a derrapagem (VRD) de valor igual ou superior a 45, e também deve obter altura de areia (HS) entre 0,60mm a 1,20 mm.

Quadro 4 – Requisitos granulométricos para o CBUQ

Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	±7
1 1/2"	38,1	95-100	100	-	±7
1"	25,4	75-100	95-100	-	±7
3/4"	19,1	60-90	80-100	100	±7
1/2"	12,7	-	-	80-100	±7
3/8"	9,5	35-65	45-80	70-90	±7
Nº4	4,8	25-50	28-60	44-72	±5
Nº10	2	20-40	20-45	22-50	±5
Nº40	0,42	10-30	10-32	8-26	±3
Nº80	0,18	05-20	8-20	4-16	±2
Nº200	0,075	1-8	3-8	2-10	±2
Asfalto solúvel no CS2 (+) (%)		4,0-7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5-7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5-9,0 Camada de rolamento	±0,3

Fonte: ES-031/DNIT (2006).

2.5.2 Tratamento superficial

De acordo com Barufi *apud* Senço (2013), define-se tratamento superficial como uma aplicação de uma ou mais camadas de agregado ligadas por misturas betuminosas, podendo ser por penetração direta ou penetração invertida.

Penetração direta trata-se do revestimento executado mediante o espalhamento e compactação de camadas de agregados, onde cada camada é submetida, após compressão, a uma aplicação de material betuminoso, com aplicação final de agregado miúdo. Já a penetração invertida caracteriza-se pelos revestimentos executados por meio de uma ou mais aplicações de material betuminoso, seguidas por um idêntico número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados (IPR-719/DNIT, 2006).

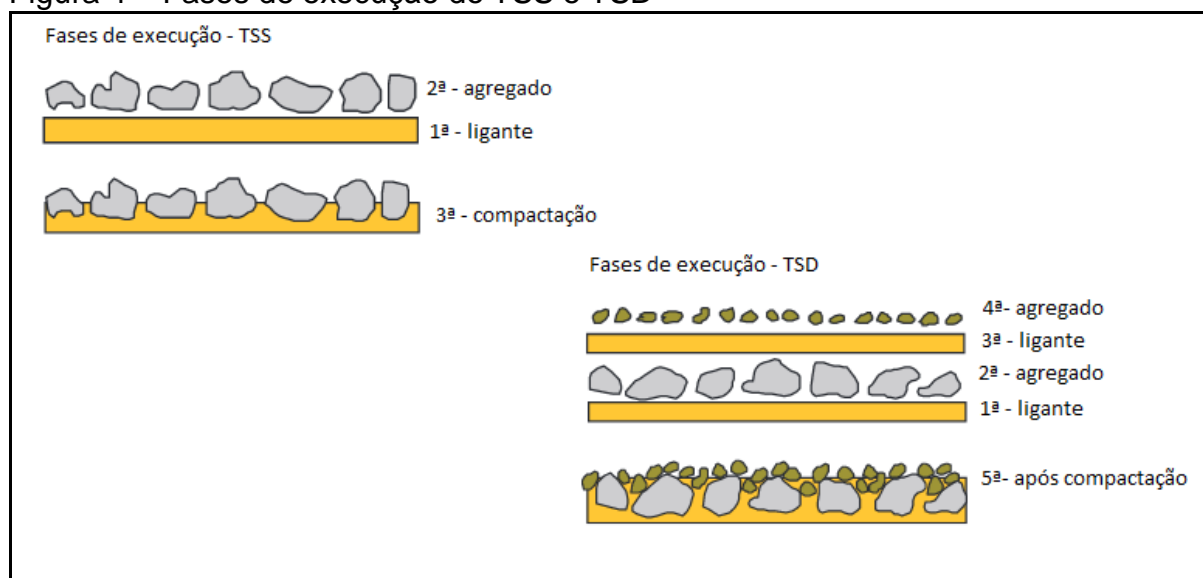
Segundo Barufi *apud* Senço (2013), independente do tipo de penetração utilizada, os tratamentos classificam-se em tratamento superficial simples (TSS), quando houver uma camada de agregado e uma pintura de betume; tratamento superficial duplo (TSD), quando houver camadas de agregado e duas pinturas de

betume; tratamento superficial triplo (TST), quando houver três camadas de agregado e três pinturas de betume, e tratamento superficial quádruplo (TSQ), quando houver quatro camadas de agregado e quatro pinturas de betume.

Para qualquer tipo de tratamento empregado, utiliza-se pintura com imprimação do tipo CM-30, seguida da distribuição de betume e do agregado – o qual deve se repetir até formar as camadas do projeto (BARUFI *apud* NOGUEIRA, 2013).

Como pode ser visto na Figura 4, o tratamento superficial simples (TSS) inicia-se pela aplicação do ligante que, por sua vez, penetra para cima do agregado (penetração invertida), e após ocorre a etapa de compactação. O tratamento superficial duplo ocorre de modo similar ao TSS, ocorrendo a penetração do ligante (3ª fase), de forma tanto invertida como direta.

Figura 4 – Fases de execução do TSS e TSD



Fonte: Bernucci *et al.* (2008).

De acordo com a ES-147/DNIT (2012), os materiais empregados em tratamentos superficiais devem possuir emulsão asfáltica de ruptura rápida (preferencialmente RR-2C), além de agregados pedra britada, escória britada ou seixo rolado, os quais devem possuir dureza adequada e estarem limpos durante a etapa de execução.

De acordo com a ES-15/DAER (2011), no tratamento superficial duplo (TSD), os agregados devem possuir dois tipos de granulometria distintos, sendo que na

primeira aplicação deve-se utilizar a Faixa A ou B e na segunda aplicação deve-se utilizar a Faixa C ou D, conforme o Quadro 5.

Quadro 5 – Granulometria indicada para o TSD

Malha	A 1ª camada	B 1ª camada ou 2ª camada	C 2ª camada	Tolerâncias da faixa de projeto
1"	100	-	-	±7
3/4"	90-100	-	-	±7
1/2"	20-55	100	-	±7
3/8"	0-15	85-100	100	±5
Nº4	0-5	10-30	85-100	±5
Nº10	0	0-10	10-40	±5
Nº200	0-0,5	0-2	0-2	±2

Fonte: ES-309/DNER (1997).

Segundo Pinto (2006), o tratamento superficial é um revestimento econômico, podendo ser projetado para construir a camada de revestimento de um pavimento novo sobre a camada de base imprimada. Além de possuir empregabilidade em revestimentos novos, o tratamento superficial é uma excelente solução de reabilitação de pavimento asfáltico.

Para Pinto (2006), o tratamento superficial conta com uma série de finalidades, como promover superfície antiderrapante onde haja pista escorregadia; rejuvenescer superfícies desgastadas; minimizar a reflexão de trincas de bases cimentadas para o revestimento denso a ser construído; demarcar cruzamentos, acessos, acostamentos e pistas de aceleração e desaceleração; constituir a camada de rolamento de pavimentos novos ou reabilitados; realizar a selagem para cura de bases e sub-bases; obter um revestimento de pequena espessura, de elevada flexibilidade e alta resistência ao desgaste; executar selagem de pavimentos que tenham se tornado muito porosos e desgastados.

Embora o uso do tratamento superficial apresente uma série de vantagens, devido à sua espessura o tratamento não aumenta a resistência estrutural do pavimento. Também possui a desvantagem de ser uma camada pouco permeável, necessitando uma aplicação de camada selante sobre o pavimento (JENICHEN *et al.*, 2003).

2.5.3 Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF)

Define-se microrrevestimento asfáltico a frio como uma associação de agregado, material de enchimento (*filler*), emulsão asfáltica modificada por polímero SBS, água e aditivos que devem ser espalhados sobre uma superfície preparada (ES 035/DNIT, 2004).

Segundo a ES-035/DNIT (2005), os materiais constituintes do microrrevestimento asfáltico são compostos por emulsão asfáltica modificada por polímero; aditivo com a função de retardar a ruptura de emulsão na execução do microrrevestimento; água isenta de matéria orgânica e, também, quando os agregados tiverem desgaste Los Angeles igual ou inferior a 40%, perda inferior a 12% e equivalente de areia igual ou superior a 60%.

A mistura dos agregados do microrrevestimento deve possuir granulometria conforme Quadro 6.

Quadro 6 – Composição granulométrica do MRAF

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA MISTURA DOS AGREGADOS					
Peneira de malha quadrada		Porcentagem passando, em peso			
Peneiras		Faixa I	Faixa II	Faixa III	Tolerância da curva do projeto (%)
Nome	Abertura (mm)				
1/2"	12,5	-	-	100	-
3/8"	9,5	100	100	85-100	±5
Nº 4	4,75	90-100	70-90	60-87	±5
Nº 8	2,36	65-90	45-70	40-60	±5
Nº 16	1,18	45-70	28-50	28-45	±5
Nº 30	0,6	30-50	19-34	19-34	±5
Nº 50	0,33	18-30	12-25	14-25	±5
Nº 100	0,15	10-21	7-18	8-17	±5
Nº200	0,075	5-15	5-15	4-8	±3
Asfalto residual	% em peso do agregado	7,5 - 13,5	6,5-12	5,5-7,5	±2
Filler	% em peso do agregado	0-3	0-3	0-3	±0.3
Polímero	% em peso do agregado	3min.	3min.	3min.	-
Taxa de aplicação	kg/m²	5-11	8-16	15-30	-
Espessura (mm)	-	4-15	6-20	12-37	-
Utilização		Áreas urbanas aeroportos	Rodovias de tráfego pesado Trilhas de Roda	Regularização de Rodovias e Rodovias de tráfego pesado	-

Nota: As tolerâncias do quadro são permitidas desde que os limites da faixa não sejam ultrapassados
 Fonte: ES-035/DNIT (2005).

O MRAF, quando comparado ao uso de misturas a quente, gera em torno de oito litros de óleo combustível por tonelada produzida, além de contribuir para a segurança e saúde dos trabalhadores da pavimentação (REIS e CERRATI, 2011).

Para Balbo (2007), o MRAF pode ser utilizado na restauração de pavimentos asfálticos, além da função de impermeabilizar e de garantir a aderência pneu-pavimento.

De acordo com Vasconcelos *apud* Abeda *et al.* (2013), o microrrevestimento asfáltico se adapta a todas as classes de tráfego (rodovias, vias urbanas, aeroportos, etc.) e possui como principal área de utilização de pavimentos delgados, além de reduzir a espessura do revestimento asfáltico. Pode ser aplicado em pavimentos novos sobre bases granulares flexíveis e rígidas e corrige defeitos superficiais, através do enchimento das trilhas de roda e selagem das trincas.

Ainda, conforme Vasconcelos *apud* Abeda *et al.* (2013), destacam-se ao microrrevestimento as características de preservação da estrutura do pavimento, em função da entrada de água e ar no pavimento; restabelecimento das condições ideais da superfície do rolamento; alta produtividade e rapidez na execução e liberação dos serviços, além da melhora de condições de segurança, meio ambiente e saúde, por ser uma técnica empregada a temperatura ambiente e não conter solventes derivados de petróleo e sem riscos de explosões.

Sobre a vida útil do microrrevestimento asfáltico a frio, pode-se dizer que se bem projetado, possui durabilidade entre seis a nove anos. Contudo, para que o pavimento dure por tanto tempo, deve ser executado por equipes qualificadas e equipamentos especialmente desenvolvidos para esse fim (NETO e CAMPEDELLI, 2007).

Deve-se tomar cuidado para que o conceito de microrrevestimento asfáltico não se confunda com o da lama asfáltica, pois segundo a publicação do comitê americano NHCRP (2010), há diferenças entre ambos, como:

- o microrrevestimento sempre possuirá polímeros;
- no microrrevestimento a cura do pavimento ocorre de forma rápida, reduzindo o tráfego também de forma rápida;
- o microrrevestimento pode ser aplicado em camadas mais espessas.

No comparativo com as misturas a quente, o microrrevestimento pode ser executado em temperatura ambiente, visto que as emulsões asfálticas “rompem” e “endurecem” devido ao processo eletroquímico e à perda de água (ANTT, 2011).

2.5.4 Cape Seal

Embora o revestimento *Cape Seal* venha sendo utilizado há muito tempo em países como África do Sul, Austrália e Nova Zelândia, no Brasil ainda há pouco conhecimento desta aplicação. Segundo Abeda *apud* Vasconcelos (2013), há registros bibliográficos do trecho experimental entre Osório e Capivari/RS, no início de 2002. Posteriormente, houve a adoção da tecnologia na Rodovia Presidente Castelo Branco, em São Paulo.

Conforme Fonseca *et al.* (2003), a metodologia da construção do *Cape Seal* consiste na combinação do tratamento superficial com o microrrevestimento. Essa combinação resulta numa camada única com diversas vantagens, como a eliminação da possibilidade de desprendimento dos agregados; excelente impermeabilização; aumento do atrito pneu-pavimento; maior flexibilidade do pavimento; redução do nível de ruído em relação ao tratamento superficial; aumento de conforto e segurança e excelente aspecto visual.

Além do que foi mencionado por Fonseca *et al.* (2003), o *Cape Seal* aumenta o tempo de vida do tratamento superficial, recobrindo melhor as partículas do agregado e protegendo a superfície, fazendo com que a possibilidade de desprendimento dos agregados diminua, além de criar uma superfície mais densa (ACUÑA *et al.*, 2008).

Para ABEDA (2010), a inserção do MRAF nos interstícios dos vazios do TSS proporciona uma criação de barreira física, criando uma vedação da mistura, com no máximo 2 a 3% de vazios, fazendo com que a baixa permeabilidade da água e do ar proporcionem aumento da durabilidade.

Pode-se aplicar o *Cape Seal* tanto em pavimentos novos como em casos de recuperação asfáltica. Porém, algumas aplicações prévias deverão acontecer como no caso de implantação do *Cape Seal* de bases estabilizadas e camada de rolamento de pavimentos novos, onde deve-se realizar a aplicação da imprimação impermeabilizante e também executar uma varredura da pista imprimada (VASCONCELOS, 2013).

Para Fonseca *et al.* (2003), em casos de superfícies asfálticas já existentes, alguns pontos devem ser observados antes da aplicação do *Cape Seal*, como o tratamento da camada subjacente; a limpeza; intervenção adequada e recomposição nos pontos onde existam deformações, bombeamentos, trilhas de roda, etc.

Após executado, o *Cape Seal* deixa o pavimento com uma camada densa, proporcionando resistência à derrapagem e uma boa vida útil ao pavimento – em torno de três a cinco anos a mais (KENNEDY e SOLAIMANIAN, 1998).

2.5.5 Comparativo entre os revestimentos TSD, *Cape Seal* e CBUQ

Na análise comparativa entre os revestimentos do tipo *Cape Seal* e CBUQ, foi realizada uma pesquisa incluindo o revestimento TSD em virtude do mesmo – juntamente com o microrrevestimento, fazer parte da mistura asfáltica que caracteriza o *Cape Seal*.

Oliveira *et al.* (2004) mencionam em sua pesquisa que o *Cape Seal* apresenta as seguintes vantagens, quando comparado ao TSD:

- Devido à sua baixa permeabilidade à água e ao ar do revestimento, o *Cape Seal* proporciona aumento de durabilidade, especialmente quando comparado ao TSD, no qual o índice de vazios é elevado;

- No comparativo entre *Cape Seal* e TSD ambos revestimentos apresentam valor aceitável de segurança, entretanto, a textura do TSD foi classificada como muito rugosa enquanto o *Cape Seal* apresentou textura entre média e rugosa;
- O *Cape Seal* apresenta nível de ruído menor do que o TSD;
- Sobre a sinalização horizontal, o revestimento *Cape Seal* proporciona maior retrorreflectividade no comparativo ao TSD.

Pontes (2012) fez um estudo entre o TSD e CBUQ e constatou que em um período de sete anos (entre 2001 e 2008), o CBUQ apresentou índice de irregularidade inferior ao tratamento superficial.

De acordo com Loiola *et al.* (2010), rodovias com TSD possuem maiores valores de macrotextura no comparativo ao CBUQ, pois superfícies com macrotexturas classificadas de média a muito aberta proporcionam melhor escoamento da água porventura acumulada, facilitando a frenagem.

2.6 Preparo e execução das misturas asfálticas

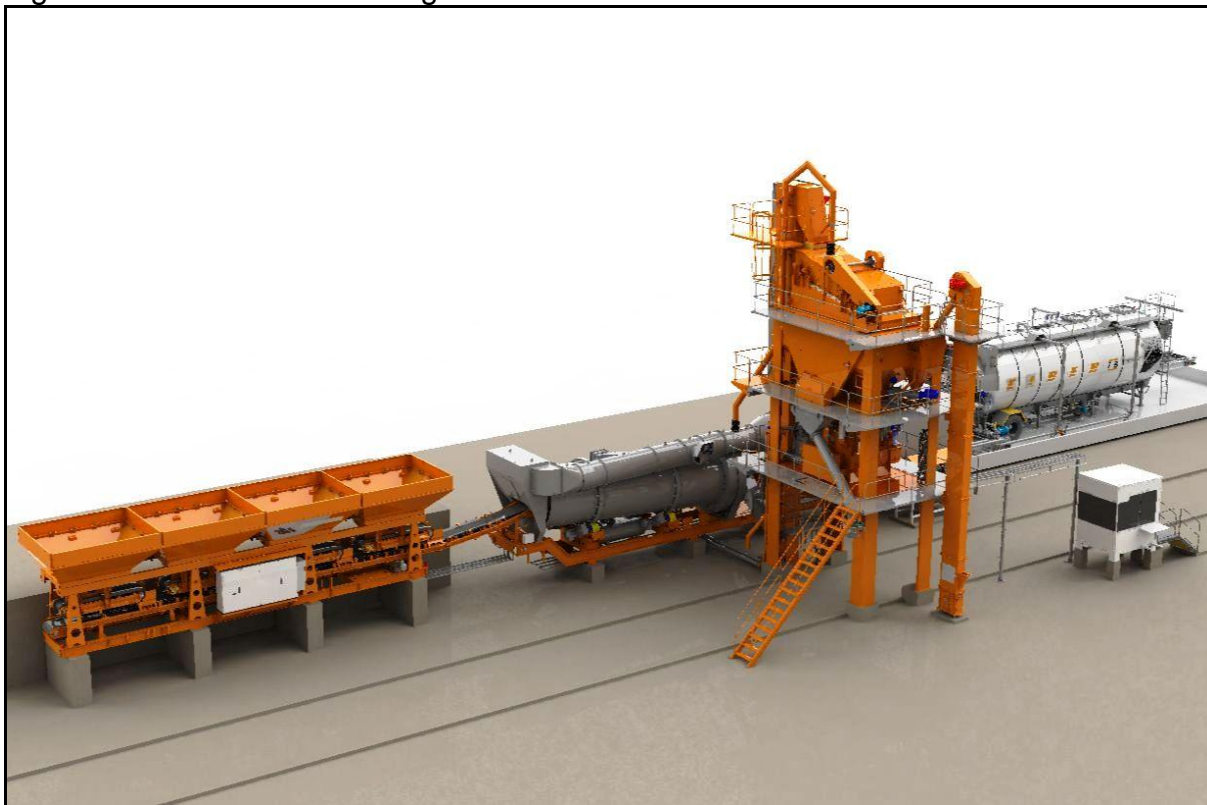
2.6.1 Preparo e execução do CBUQ

Conforme ES-031/DNIT (2006), para a execução do concreto betuminoso asfáltico, deve-se dispor dos equipamentos como depósito para ligante asfáltico; silos para agregados; usina para mistura asfáltica; caminhão basculante para o transporte da mistura; equipamento para espalhamento e acabamento e equipamento para a compactação.

O preparo da mistura asfáltica (CBUQ) deve ser feito em usina apropriada onde ocorre o recebimento e a estocagem dos agregados que, por sua vez, são dosados (de acordo com o projeto) em silos. O controle da dosagem é automatizado, possibilitando a pesagem com maior precisão dos materiais. Em seguida, os agregados são direcionados ao forno secador e ao tambor misturador.

Após a mistura do agregado no interior do tambor, é adicionada a emulsão asfáltica (BORRINUEVO *et al.*, 2014).

Figura 5 – Processo de usinagem do CBUQ

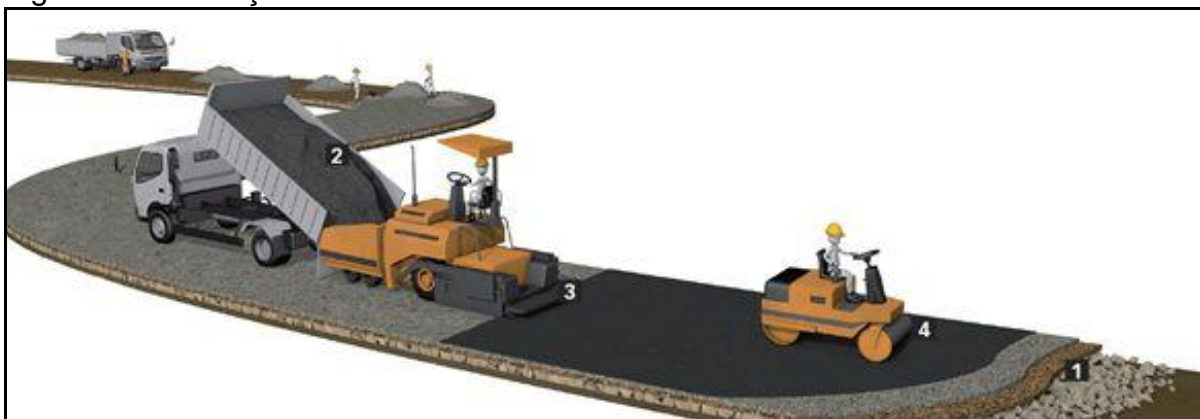


Fonte: Ciber (2015).

Após a conclusão da etapa de usinagem do CBUQ, a mistura é levada até o local da obra, onde ocorre a execução do pavimento. Durante a etapa de execução, o espalhamento do revestimento asfáltico deve ser feito com equipamentos apropriados e mão de obra qualificada. Com o intuito de obter-se mais durabilidade ao pavimento, a compactação precisa ser bem controlada (NAKAMURA, 2011).

Depois da execução do subleito e da sub-base, procede-se ao preparo da base – geralmente feito com brita graduada simples, o qual deve estar nivelado e isento de partículas soltas. A etapa posterior ao preparo da base é a compactação, que deve ser feita logo após o espalhamento da brita, para que não perca umidade. Posteriormente é feito o lançamento do CBUQ por meio da vibro acabadora, procedido pela etapa de imprimação. Por fim, é realizada a compactação do asfalto por meio da rolagem de compactação e rolagem de acabamento (NAKAMURA, 2011).

Figura 6 – Execução da mistura asfáltica



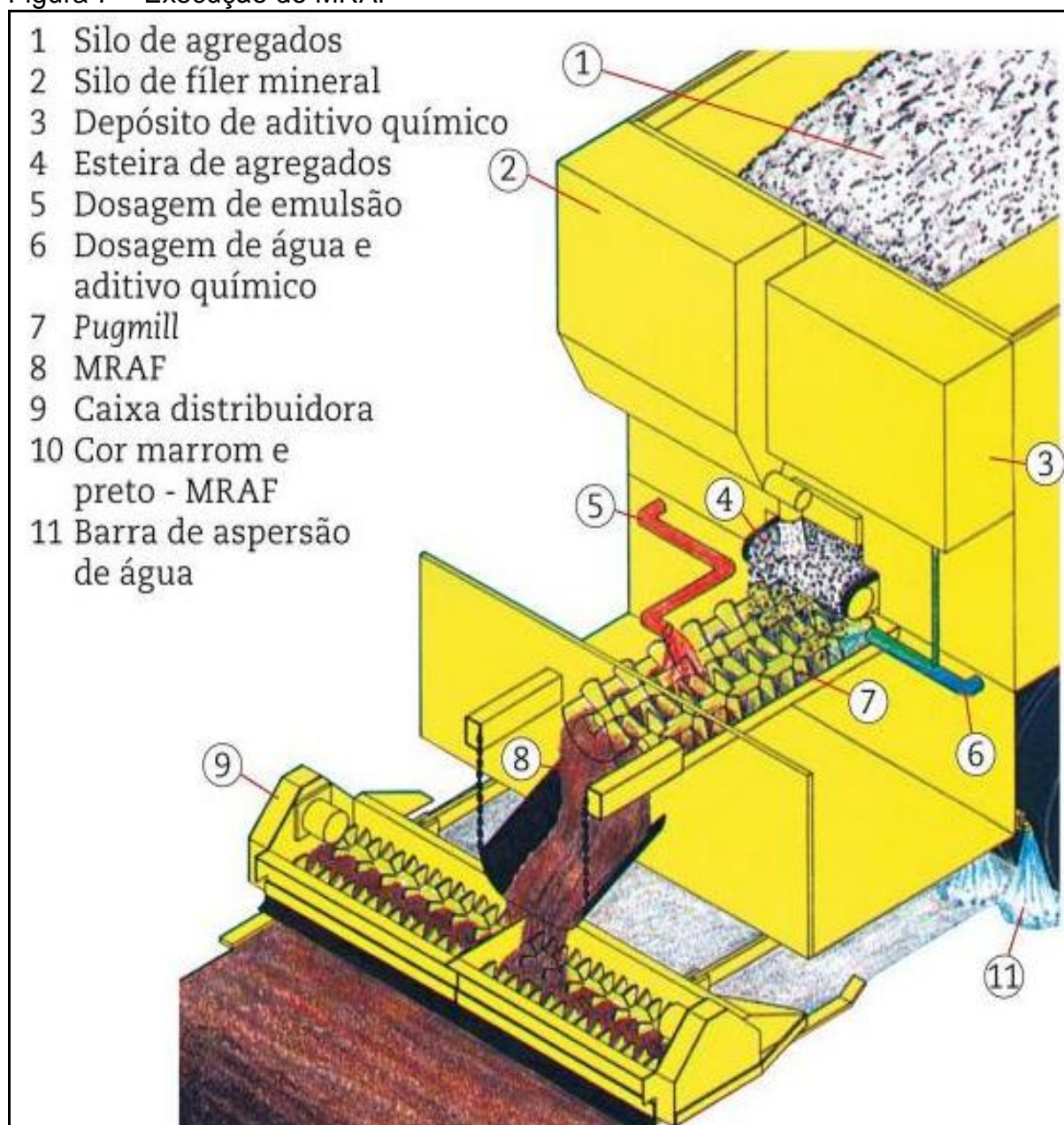
Fonte: Nakamura, 2011.

2.6.2 Preparo e execução do MRAF

Antes da junção com o tratamento superficial (formando o *Cape Seal*), a mistura asfáltica a frio deverá ser preparada em usina adequada e estar de acordo com a norma ES-035/DNIT (2005) – cuja composição consiste na mistura do agregado, material de enchimento, emulsão asfáltica modificada por polímero SBS, água e aditivos, quando necessário.

Como pode ser visto na Figura 7, a mistura pronta do MRAF ocorre por meio do espalhamento do agregado (1) na esteira (4); espalhamento do fíler mineral (2) com correta dosagem (entre 0,5 e 2% do peso do agregado); mistura da água (6) com aditivo químico (3) no pugmill (7) seguida pela adição da emulsão asfáltica (5) e, após a mistura pronta, descarrega-se o material na caixa distribuidora (9). Por fim ocorre o espalhamento do microrrevestimento.

Figura 7 – Execução do MRAF



Fonte: Reis e Cerratti (2011).

2.7 Avaliação de pavimentos

A avaliação de pavimentos relaciona-se às condições que o pavimento asfáltico apresenta quanto ao conforto, segurança e economia aos condutores do veículo. Dependendo do aspecto avaliado no pavimento, é feito um diagnóstico e, após a avaliação, decide-se por realizar a manutenção da via ou em situação mais extrema, reconstruir o pavimento (POLETI *apud* GONTIJO, 2005).

Ao usuário da via, os fatores mais importantes estão relacionados aos parâmetros de conforto e segurança oferecidos, porém, deve-se estar atento à caracterização estrutural do pavimento, pois uma via estruturalmente defeituosa, além de ser desconfortável ao condutor, pode ser insegura e até mesmo causar acidentes (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Conforme Henrique (2005), para que um pavimento apresente parâmetros adequados devem ser avaliadas condições funcionais, estruturais e de segurança, as quais serão abordadas nos tópicos posteriores deste trabalho.

2.7.1 Avaliação funcional

De acordo com a IP00-003/DER-SP (2006), caracteriza-se avaliação funcional como a determinação do conforto em termos de qualidade de rolamento, de modo a dar uma superfície com serventia ao pavimento.

Segundo Medina *apud* Poleti (2005), a avaliação funcional é feita por medições de irregularidade superficial, resistência à derrapagem e contagem de defeitos na superfície de rolamento. Para o usuário da via, a avaliação relaciona-se ao conforto da pista e segurança, além de aspectos ambientais e estéticos.

Conforme Pires *apud* Pereira (2011), a avaliação funcional ocorre por meio da avaliação funcional objetiva; avaliação objetiva expedita; avaliação subjetiva e avaliação de irregularidade longitudinal.

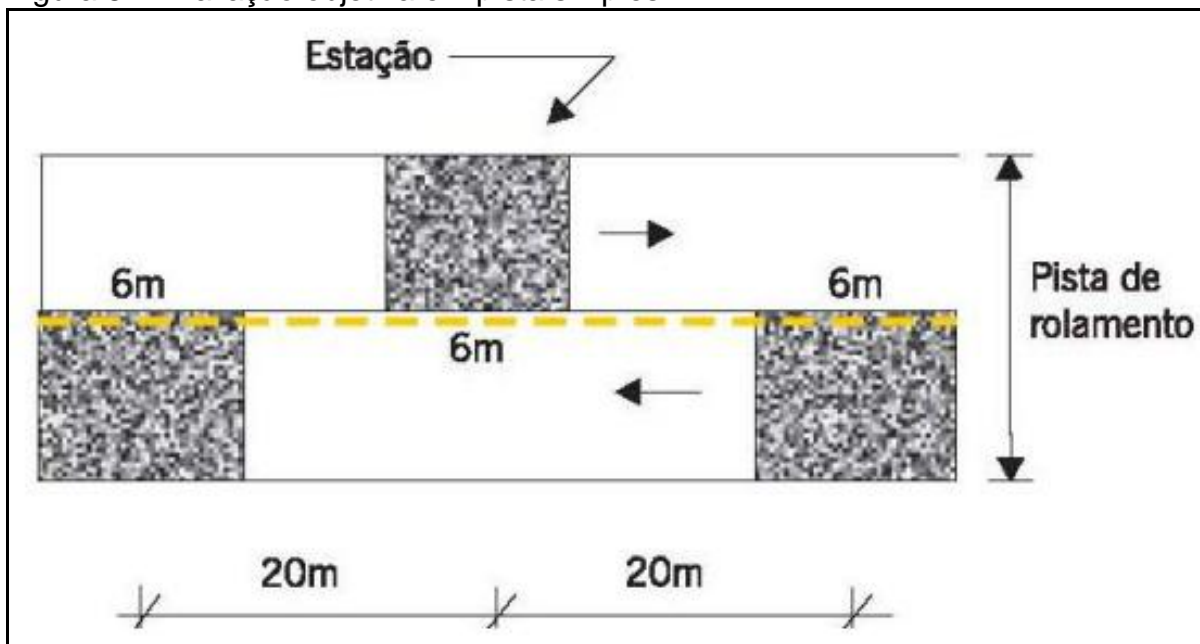
2.7.1.1 Avaliação funcional objetiva

Para Cordeiro *et al.* (2013), “a avaliação objetiva da superfície de pavimentos indica o Índice de Gravidade Global (IGG), que caracteriza o grau de degradação superficial, resultante do levantamento dos defeitos de superfície”.

A PRO-006/DNIT (2003) define quais são os critérios de aplicação da avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos. De acordo com a norma, devem-se locar as superfícies de avaliação em pistas simples a cada

20m, alternadas em relação ao eixo de rolamento (FIGURA 8) e, em pistas duplas, a cada 20m, na faixa mais solicitada de cada pista. Utiliza-se na avaliação uma treliça de alumínio, além de equipamentos para a localização e demarcação das estações (trena, tinta, giz, formulários, etc.).

Figura 8 – Avaliação objetiva em pista simples



Fonte: Pires *apud* Bernucci (2011).

Para cada defeito observado, calcula-se a frequência relativa, que é dada pela fórmula abaixo:

$$fr = fa * 100 / n$$

Onde:

fr - frequência relativa

fa - frequência absoluta

n - quantidade de estações inventariadas

Calcula-se também o Índice de Gravidade Individual (IGI):

$$IGI = fr \times fp$$

Onde:

f_r - frequência relativa;

f_p – fator de ponderação (ver Quadro 8)

Quadro 7 – Fatores de ponderação (f_p)

Ocorrência tipo	Codificação de ocorrências	Fator de ponderação f_p
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC e TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE E TBE)	0,8
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,9
5	O,P,E	1
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Fonte: PRO-006/DNIT (2003).

Deve-se realizar, também, o índice de gravidade individual dos afundamentos em trilha de roda. De acordo com Bernucci *et al.* (2008), a média dos afundamentos em trilha de roda deve ser considerada por meio da média F dos afundamentos e a média FV das variâncias das flechas, conforme a equação a seguir:

$$F = (\sum FRE + \sum FRI)/2$$

$$FV = (FRE + FRI)/2$$

Onde:

FRE – flecha na trilha externa em milímetros de cada estação de segmento;

FRI – flecha na trilha interna em milímetros de cada estação de segmento;

i – primeira estação do segmento

j – última estação do segmento

F – média aritmética da média das flechas na trilha externa e da trilha interna dos segmentos

FRE_v – variância das flechas medidas na trilha externa do segmento, considerando todas estações de i a j

FRIv – variância das flechas medidas na trilha interna do segmento, considerando todas estações de i a j

FV – média da variância das flechas na trilha externa e variância nas trilhas internas do segmento

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), para o cálculo da contribuição das flechas, utilizam-se as equações a seguir:

$$IGI_F = F * 4/3 \quad (1)$$

$$IGI_F = 40 \text{ (quando } F > 30) \quad (2)$$

$$IGI_{FV} = FV * 1,0 \text{ (quando } F \leq 50) \quad (3)$$

$$IGI_{FV} = 50 \text{ (quando } F = 50) \quad (4)$$

Por fim, calcula-se o índice de gravidade geral, por meio da fórmula indicada pela PRO-006/DNIT (2003), onde:

$$IGG = \sum IGI$$

A partir da determinação do IGG, encontra-se o conceito de IGG por faixa de valores, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do IGG

Conceito	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: PRO-006/DNIT (2003).

2.7.1.2 Avaliação funcional objetiva expedita (LVC)

Segundo Benevides *et al.* (2008), o LVC trata-se de uma avaliação do revestimento asfáltico, por meio do qual objetiva-se fazer uma análise do grau de deformação do pavimento com o uso de equipamentos adequados.

A avaliação deve ser realizada em horário e condição climática adequada, não sendo adequada prática do LVC em dias chuvosos, com muita neblina ou com pouca luz natural. Utiliza-se veículo com velocímetro calibrado para fins de aferição de velocidade de operação e de distâncias percorridas (PRO-008/DNIT, 2003).

O veículo utilizado na LVC deve ser operado a uma velocidade média de 40 km/h, sendo que o fluxo deverá ocorrer em sentido único. A PRO-008/DNIT (2003) recomenda que a divisão dos trechos para o levantamento dos dados seja feita por segmentos de 1 km de extensão, com extensão máxima de 6 km.

O levantamento é feito por meio do preenchimento do formulário padrão, estipulado pela normativa PRO-008/DNIT (2003), onde se calcula o IPCF (Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis), mediante as médias atribuídas conforme pode ser visto no Quadro 8.

Após o cálculo do IPCF, determina-se o Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE), por meio da soma da frequência e peso do conjunto das trincas t ($P_t \times F_t$); soma da frequência e peso das deformações e frequência ($P_{oap} \times F_{oap}$) e peso de painéis e remendos ($P_{pr} \times F_{pr}$).

Abaixo a equação do IGGE:

$$IGGE = (P_t \times F_t) + (P_{oap} \times F_{oap}) + (P_{pr} \times F_{pr})$$

Quadro 8 – Classificação do IPCF

CONCEITO	DESCRIÇÃO	ICPF
Ótimo	NECESSITA APENAS DE CONSERVAÇÃO ROTINEIRA	5 - 4
Bom	APLICAÇÃO DE LAMA ASFÁLTICA – Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4 - 3
Regular	CORREÇÃO DE PONTOS LOCALIZADOS OU RECAPEAMENTO - pavimento trincado, com “painéis” e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal.	3 - 2
Ruim	RECAPEAMENTO COM CORREÇÕES PRÉVIAS - defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas - remendos superficiais ou profundos.	2 - 1
Péssimo	RECONSTRUÇÃO - defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Degradação do revestimento e das demais camadas - infiltração de água e descompactação da base	1 - 0

Fonte: PRO-008/DNIT (2003).

Com base nos valores obtidos pelo IGGE e IPCF, determina-se o valor do IES, conforme pode ser visto no Quadro 9.

Quadro 9 – Determinação do IES

Descrição	IES	Código	Conceito
$IGGE \leq 20$ e $ICPF > 3,5$	0	A	Ótimo
$IGGE \leq 20$ e $ICPF > 3,5$	1	B	Bom
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF > 3,5$	2		
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF \leq 3,5$	3	C	Regular
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF > 2,5$	4		
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF \leq 2,5$	5	D	Ruim
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$	7		
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF \leq 2,5$	8	E	Péssimo
$IGGE > 90$	10		

Fonte: PRO-008/DNIT (2003).

2.7.1.3 Avaliação funcional subjetiva

De acordo com Henrique *apud* Bernucci (2013), o modelo de avaliação subjetiva trata-se do valor de serventia atual (VSA), por meio do qual avalia-se o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, num dado momento da vida do pavimento.

Conforme PRO-009/DNIT (2013), seleciona-se cerca de dez trechos de pavimento com comprimento aproximado de 600m, que devem abranger uma ampla variação na qualidade do rolamento. Divide-se em dois a equipe de avaliadores (que devem ter domínio das normativas). Após a avaliação experimental, os valores individuais do VSA são calculados por meio da média abaixo:

$$VSA = \sum X / n$$

Onde:

X – valores de serventia atual de cada avaliador

n – número de membros de cada avaliação

Quadro 10 – Avaliação do VSA

Conceito	Descrição	VSA
Ótimo	Necessita apenas de manutenção rotineira	$VSA > 4,0$
Bom	Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas. A solução recomendada de restauração é a aplicação de lama asfáltica ou microconcreto asfáltico	$3,0 < VSA \leq 4,0$
Regular	Pavimento trincado, com painéis pouco frequentes e com irregularidade longitudinal e transversal. A solução recomendada de restauração é a correção de pontos localizados ou recapeamento	$2,0 < VSA \leq 3,0$
Mau	Defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas com remendos superficiais ou profundos. A solução recomendada de restauração é o recapeamento com correções prévias	$1,0 < VSA \leq 2,0$
Péssimo	Defeitos localizados com correções prévias em toda a extensão. Deterioração do revestimento e das demais camadas, infiltração de água e descompactação da base. A solução recomendada é a reconstrução	$VSA \leq 1,0$

Fonte: PRO-009/DNIT (2003).

2.7.1.4 Avaliação funcional da irregularidade longitudinal

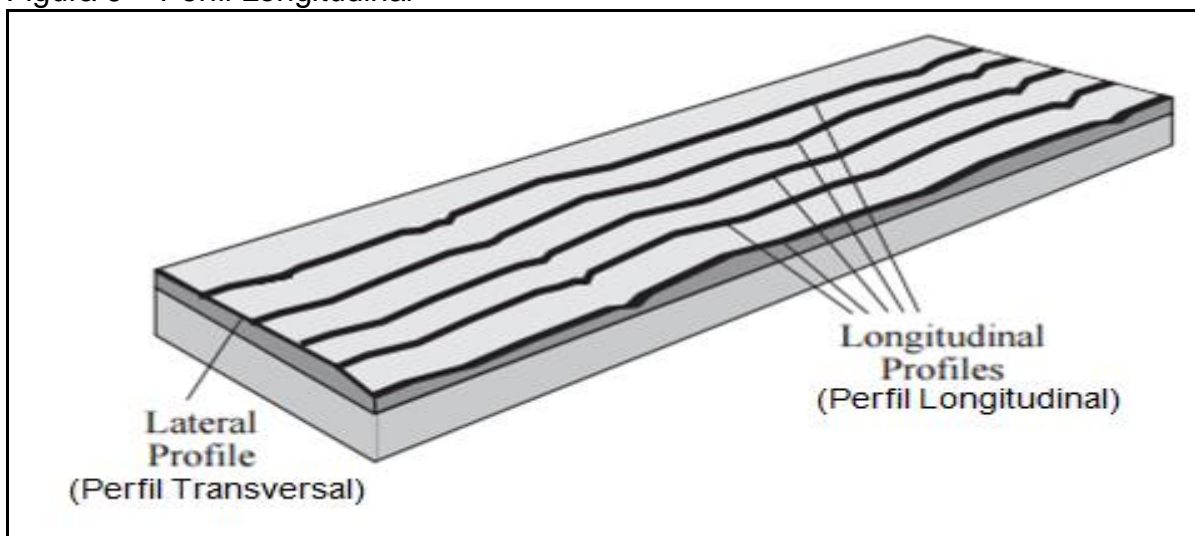
Para Barella (2008), a irregularidade do pavimento torna-se prejudicial ao usuário da via em termos de conforto, pois atrapalha o rolamento rápido e suave dos veículos, além de acelerar a degradação do pavimento.

O usuário, dependendo da velocidade em que trafega seu veículo, consegue perceber a irregularidade do pavimento que ocorre por meio do perfil longitudinal (FIGURA 9). Por meio da carga dinâmica do veículo pode-se perceber que ocorrem deslocamentos laterais, resultantes do movimento do veículo para a direita e para a esquerda. Tais deslocamentos são originados das diferenças das declividades transversais do pavimento e também por curvas horizontais (BENEVIDES *et al.*, 2010).

De acordo com Barella (2008, p. 28)

Como os veículos trafegam paralelos ao eixo longitudinal de uma pista é neste sentido que se mede a irregularidade, normalmente em locais onde as rodas passam com maior frequência, ou seja, sobre as trilhas de roda.

Figura 9 – Perfil Longitudinal



Fonte: Adaptado pelo autor, com base em Sayers e Karamihas (1998).

Segundo a PRO-182/DNER (1994), determina-se a irregularidade por meio da leitura com aparelho “tipo resposta”, que consiste num veículo passeio portado de um medidor tipo resposta que, ao se deslocar no pavimento, faz as leituras de irregularidade. Pode-se utilizar para a medição de irregularidade o sistema integrador IPR/USP, sistema Maysmeter ou rugosímetro BPR.

Conforme Benevides (2006), o sistema integrador IPR/USP é o aparelho “tipo resposta” mais utilizado no Brasil, no qual o integrador é montado em veículo de passeio médio e, quando se desloca na via, o integrador fornece o somatório dos valores absolutos dos deslocamentos verticais.

De acordo com Lerch (2002), o sistema Maysmeter consiste numa haste anexada ao eixo e a um transmissor instalado num veículo de passeio, sendo que os deslocamentos entre o eixo traseiro do veículo são medidos por um transmissor e o sinal é enviado a um registrador.

Já o rugosímetro BPR (*Bureau of Public Road*) trata-se de um reboque que se desloca em velocidades de 15 a 20km/h, em uma única roda teste, que simula um quarto de carro para registrar a irregularidade do pavimento (BENEVIDES, 2006).

Conforme Benevides *et al.* (2008), utiliza-se como escala padrão de irregularidade no Brasil o QI (Quociente de Irregularidade), que é expresso em

contagens/km. Porém a nível internacional utiliza-se o IRI (Índice de Irregularidade Internacional), que possui como relação: $IRI = QI / 13$.

Após avaliação, atribui-se o conceito de qualidade ao pavimento, variando entre má a excelente, conforme pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação do pavimento, conforme irregularidade

Conceito	IRI (m/km)	QI (cont/km)
Excelente	1,0 a 1,9	13 a 25
Bom	1,9 a 2,7	25 a 35
Regular	2,7 a 3,5	35 a 45
Ruim	3,5 a 4,6	45 a 60
Péssimo	> 4,6	>60

Fonte: IPR-720/DNIT (2006).

2.7.2 Avaliação estrutural

Por meio da avaliação de pavimentos é possível obter informações mais detalhadas, como materiais empregados e patologias presentes no pavimento, além da possibilidade de estabelecer modelos de previsão de desempenho, estudar critérios de aceitabilidade e sistematizar informações no sistema de gerência de pavimentos (VIEIRA e GANDOLFO, 2014).

Para Adada (2001, p. 35),

O objetivo principal da avaliação estrutural é determinar a capacidade estrutural efetiva do pavimento existente, fornecendo informações para projetos de reabilitação, monitoramento e verificação do desempenho das estruturas.

2.7.2.1 Avaliação estrutural – método destrutivo

O método destrutivo trata-se de uma forma de investigação *in loco* das camadas que compõem o pavimento. Devido à sua condição “destrutiva”, o pavimento sofre danos e, por isso, poucos pontos são avaliados no pavimento.

Bernucci *et al.* (2008) citam como exemplos de método destrutivo a extração de poços de sondagem e extração de corpos-de-prova, onde na extração é possível realizar uma análise dos tipos de materiais das camadas de subleito e coletar

amostras para ensaios de laboratório – com os quais determina-se condições como a de umidade ótima e massa específica para ensaios de compactação.

Na Figura 10, pode-se observar um modelo de método destrutivo, por meio da sondagem rotativa do pavimento em CBUQ, analisado nesta pesquisa, respeitando os critérios da PRO-159/DNER (1985).

Figura 10 – Sondagem rotativa de pavimento (método destrutivo)



Fonte: Do Autor.

Conforme PRO-159/DNER (1985), a sondagem rotativa deve ser realizada apenas em concreto asfáltico por meio de uma coroa diamantada com 0,10m (de diâmetro) e os pontos de coleta devem estar dispostos de forma alternada em cada uma das faixas de tráfego. Para ensaios de laboratório, a norma estima uma espessura mínima de 3 cm das amostras coletadas.

2.7.2.2 Método não destrutivo

Segundo Borges (2001), utiliza-se o método não destrutivo na avaliação estrutural de pavimentos por meio de levantamentos deflectométricos que permitem obter informações sobre a camada do pavimento devido à ação de carga oriunda do tráfego de veículos.

De acordo com Nóbrega *apud* Haas (2003), no comparativo com o método destrutivo, prefere-se o método não destrutivo devido a seu baixo custo, menor retenção de tráfego e por não danificar o pavimento.

A IPR-720/DNIT(2006) considera que o método não-destrutivo é a maneira mais apropriada para determinar a adequação estrutural do pavimento, podendo ser utilizado para auxiliar o projeto de reforço estrutural; distinguir diferentes segmentos para efeito de projeto, em função de valores de deflexão encontrados; determinar causas de defeitos e verificar locais com falta de suporte ou excesso de vazios; diferenciar períodos críticos de deterioração do pavimento; indicar a capacidade da estrutura do pavimento em suportar os tráfegos atuais e futuros ou avaliar módulos de elasticidade por retroanálise.

Conforme Bernucci *et al.* (2008), existem diversos equipamentos que realizam os ensaios de avaliação destrutivos, os quais podem ser divididos em: carregamento quase-estático- como é o caso da viga Benkelman e ensaio de placa; carregamento vibratório – *dynaflect*, por exemplo, ou carregamento por impacto, como é o caso do *falling weight deflectometer* (FWD).

2.7.2.2.1 Equipamentos não destrutivos mais utilizados no Brasil

De acordo com Bernucci (2008), os equipamentos mais utilizados no Brasil são o da viga Benkelman e o FWD- também conhecido como peso batente.

2.7.2.2.1.1 FWD (*falling weight deflectometer*)

O FWD (*falling weight deflectometer*), também conhecido como deflectômetro de impacto, trata-se de um equipamento que simula cargas de roda à velocidade na ordem de 70 km/h; porém, para a aplicação deste tipo de carga é necessário o conhecimento prévio da carga aplicada e das espessuras da camada (IPR-179/DNIT, 2006).

Segundo Novaes *et al.* (2007), o equipamento FWD gera uma onda que se propaga pelo pavimento, e isso faz com que seja possível a determinação da bacia de deflexão formada pela aplicação de carga controlada, sendo assim possível obter a camada de suporte e também determinar a vida útil da rodovia, bem como detectar a necessidade de recuperação da via, de modo a aumentar sua vida útil.

De acordo com Pinto e Domingues (2001), entre as vantagens da utilização do FWD, pode-se citar a grande acurácia na medição de deflexões e a pequena dispersão das medidas; aplicação de vários níveis de carga num mesmo ponto e rapidez e facilidade de operação.

Na Figura 11, pode-se observar o funcionamento do equipamento FWD, no qual seu peso aplicado ao pavimento cria uma onda que é registrada por geofones, determinando, assim, a bacia de deflexão.

Figura 11 – Funcionamento do equipamento FWD



Fonte: Novaes *et al.* (2007).

Por meio da leitura da deflexão, os dados obtidos são passados ao computador, onde simultaneamente são registrados valores de temperatura da superfície do revestimento e do ar, força aplicada ao pavimento e a distância percorrida (RIBAS, 2014).

O modelo de deflectômetro de impacto (FWD) mais utilizado no Brasil é de versão americana, chamado de Dynatest. Porém é encontra-se disponível também o modelo sueco KUAB. De acordo com Ribas *apud* Luiz (2014), as diferenças entre os modelos de deflectômetro americano e sueco são em relação à placa de aplicação do carregamento e ao número de pesos utilizados para simular a ação do tráfego, sendo o modelo americano (Dynatest) composto por uma placa rígida e um conjunto de massas e o modelo sueco (KUAB) composto por placa segmentada em quatro partes unidas por êmbolos e dois conjuntos de massa.

2.7.2.2.1.2 Viga Benkelman

A viga Benkelman constitui-se de um caminhão ESRD calibrado com 8,2tf de carga no eixo traseiro simples e com roda dupla. Na viga h, a extremidade do braço maior da viga contém a ponta de prova da viga, já a extremidade do braço menor aciona um extensômetro com precisão de 0,01mm. Também possui um pequeno vibrador destinado a evitar eventuais inibições do ponteiro (ME-024/DNER, 1994).

Figura 12 – Leitura da viga Benkelman



Fonte: HEELT (2015).

Decorridos três minutos da ligação do vibrador, faz-se a leitura inicial (L_o) quando o extensômetro indicar movimento igual ou menor que 0,01 mm/min. A leitura final (L_f) é feita três minutos após o caminhão sair da sua posição original, sendo que se faz a leitura quando o for indicada movimentação igual ou menor que 0,01 mm/min (ME-024/ DNER, 1994).

Os resultados do teste da viga são dados por meio do cálculo das deflexões e raio de curvatura da bacia. Conforme ME-024/DNER (1994), as fórmulas são as seguintes:

- Deflexão do pavimento

$$D_o = (L_o - L_f)^{a/b}$$

Onde:

D_o = deflexão real ou verdadeira (cm ou mm)

L_o = leitura inicial (cm ou mm)

L_f = leitura final (cm ou mm)

a e b = dimensões da viga Benkelman

- Raio de curvatura da bacia de deformação no ponto de prova

$$R = 6250 / 2 (D_0 - D_{25})$$

Onde:

D_0 = deflexão real ou verdadeira (cm ou mm)

D_{25} = deflexão a 25 cm do ponto de prova (cm ou mm)

De acordo com a IS-00/DAER (2000), o raio de curvatura será dispensado nos casos de pavimentos existentes revestidos com tratamentos superficiais. Conforme a normativa, com exceção do tratamento superficial, deve ser vetado o levantamento das deflexões com temperaturas abaixo de 10°C.

Conforme Borges (2001), os valores obtidos para a deflexão máxima podem ser considerados satisfatórios para um pavimento recém-construído quando a $D_0 < 60 \times 10^{-2}$ mm. Ainda, de acordo com o procedimento PRO 011 (DNER, 1979), valores de raio de curvatura maiores que 100m e produto R. D_0 superior a 5.500 indicam pavimentos sem problema estrutural.

2.7.2.2.1.3 Valores encontrados nas literaturas para o teste da viga Benkelman

Embora há muito tempo o *Cape Seal* venha sendo utilizado no exterior, há pouco conhecimento de resultados de deflexão obtidos por meio da viga Benkelman. No Brasil, somente no trecho experimental entre as cidades litorâneas do Rio Grande do Sul Osório e Capivari foram encontrados resultados para o uso da viga Benkelman, onde obteve-se o valor de 52x0,01mm de deflexão.

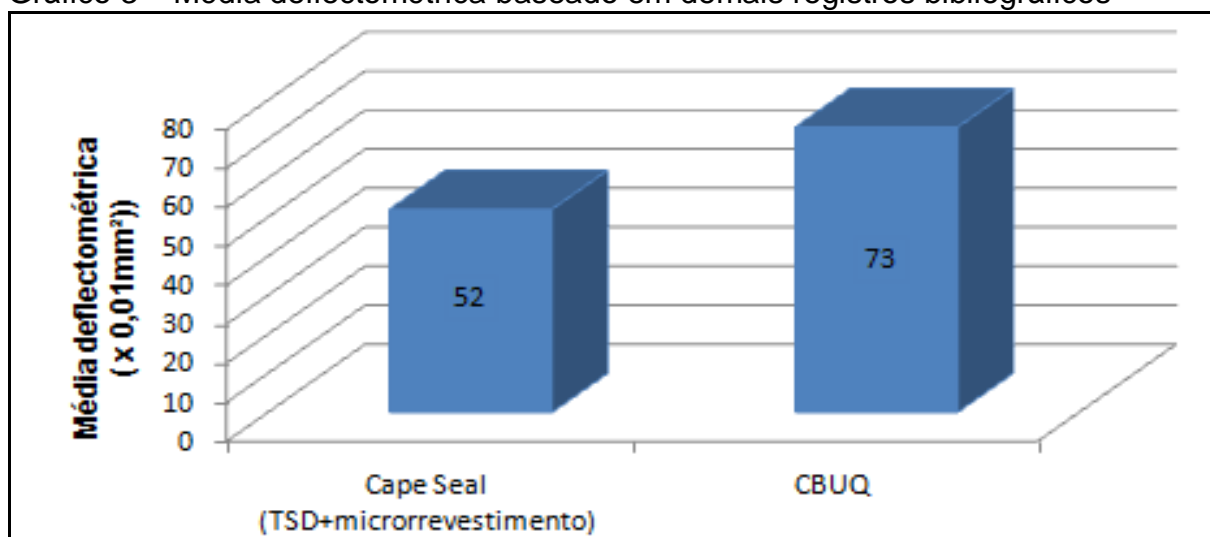
Quanto à verificação do nível deflectométrico em trechos revestidos em CBUQ há diversos resultados, entre eles os obtidos por Borges (2001) e Cavalcante (2005).

Borges realizou o teste da viga Benkelman em 56 pontos da malha rodoviária de Santa Catarina, e após análises, atribui-se o valor de 70x0,01mm de deflexão.

Cavalcante (2005) fez um levantamento comparativo entre as avaliações estruturais por meio do levantamento deflectométrico com a viga Benkelman e com o FWD em diversos pontos das rodovias estaduais de Santa Catarina que possuíam revestimento em CBUQ. Após coleta de dados, foram obtidas as médias deflectométricas dos pontos, sendo que a média geral foi de $77,87 \times 0,01 \text{ mm}$.

Após o cruzamento de dados obtidos, foi gerado o Gráfico 3, no qual é possível perceber que há uma forte tendência do revestimento em CBUQ possuir maior deflexão.

Gráfico 3 – Média deflectométrica baseado em demais registros bibliográficos



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados obtidos de Borges (2001) e Cavalcante (2005).

2.8 Avaliação de segurança (interação pneu-revestimento)

2.8.1 Textura do revestimento

Conforme Mattos (2009), a qualidade da textura do revestimento asfáltico possui relação entre a interação pneu-pavimento, pois uma superfície que apresente boa qualidade da textura possuirá boa interação pneu-pavimento, aumentando dessa forma a segurança da via ao usuário.

Pereira *et al.* (2012) afirmam que a textura do revestimento de um pavimento é um parâmetro importante no comportamento da superfície quanto à aderência, sendo esta, por sua vez, verificada por meio da obtenção do coeficiente de atrito, mediante ao atrito em função da adesão ou devido à perda por histerese (no caso de

pavimento aeroportuário devido à perda de energia resultante da deformação do pneu).

De acordo com Rodrigues *et al.* (2014), caracteriza-se a textura de acordo com o grau de dureza do pavimento, sendo a macro e a microtextura os níveis que mais afetam a aderência do pavimento. A macrotextura depende do processo de compactação, configuração geometria e granulometria dos agregados já a microtextura dependem da textura superficial dos agregados – podendo ser rugosa ou polida (lisa).

Para Ferreira (2002), a textura do revestimento divide-se em:

- Macrotextura: trata-se da disposição granulométrica dos agregados que se não estiverem bem dispostos escoando a água para fora da superfície, podem causar problemas relacionados à aquaplanagem;
- Microtextura: deve ser considerada quando há possibilidade de viscoplanagem (película entre o solo e o pneu).

Além das texturas citadas por Ferreira (2002), enquadra-se também a textura do revestimento, a megatextura e a irregularidade. A classificação das texturas depende da faixa de comprimento de onda, que pode ser vista na Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação das texturas

Classificação	Faixa de comprimento de onda
Microtextura	"GAMA" < 0,5mm
Macrotextura	$0,5\text{mm} \leq \text{"Gama"} \leq 50\text{mm}$
Megatextura	$50\text{ mm} \leq \text{"Gama"} \leq 500\text{mm}$
Irregularidade	$5\text{ m} \leq \text{"Gama"} \leq 50\text{m}$

Fonte: Bernucci *et al.* (2008).

Para Bernucci *et al.* (2008), a megatextura e a irregularidade afetam a segurança da via, pois devido ao seu grande tamanho, impactam na estabilidade do veículo, interferindo na dinâmica veicular e no contato do pneu-pavimento.

Tanto microtextura, macrotextura, megatextura e irregularidades afetam de alguma forma a segurança da via e causam efeitos no veículo e conforto dos ocupantes. No Quadro 11 percebe-se a influência da textura em diversos aspectos:

Quadro 11 – Influência dos diversos tipos de textura existentes

Efeito no veículo, ocupantes ou meio ambiente	Características da superfície	Influência
Atrito	Microtextura	Muito alta
	Macrotextura	Alta
	Megatextura	Moderada
Resistência ao movimento	Macrotextura	Alta
Consumo de combustível	Megatextura	Muito alta
Poluição do ar	Irregularidade	Alta
Desgaste do pneu	Microtextura	Muito alta
	Macrotextura	Moderada
Drenagem da superfície	Macrotextura	Alta
Esguicho e pulverização	Macrotextura	Alta
Reflexão (luz do farol)	Microtextura	Pouco conhecida
	Macrotextura	Alta
Ruído interior	Macrotextura	Alta
	Megatextura	Muito alta
	Irregularidade	Alta

Fonte: Francisco (2009).

2.8.1.1 Macrotextura

A macrotextura é a principal responsável pela drenagem da água da superfície nos pavimentos, pois devido ao seu aspecto de ranhura a água pode escoar sem ficar empoeçada. Existe uma preocupação em relação à impregnação da borracha do pneu no asfalto (QUADRO 12), pois a borracha pode preencher as ranhuras do pavimento, tornando a pista perigosa e sucessível à aquaplanagem (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), a macrotextura pode ser determinada de várias formas, sendo a mais comum pelo ensaio da Mancha de Areia. Obtém-se a altura média de Mancha de Areia pela fórmula a seguir:

$$HS = 4V / D^2 * \pi$$

Onde:

HS = altura média da Mancha de Areia

V = volume constante de areia (estipulado em 25.000 mm³)

D= diâmetro médio do círculo de areia, em mm

Conforme Quadro 12, a altura média de Mancha de Areia (HS) torna possível a classificação da macrotextura – que pode variar de muito fina a muito grosseira. É

possível, inclusive, determinar as velocidades médias em virtude da classificação obtida.

Quadro 12 – Classificação geral das macrotexturas

Hs	Classificação	Recomendação
$HS \leq 0,20$	Muito Fina	Não deve ser utilizada
$0,20 < HS \leq 0,40$	Fina	Aplicável em zonas urbanas $V < 80$ km/h
$0,40 < HS \leq 0,80$	Média	Indicada para vias com $80\text{km/h} < V < 120\text{km/h}$
$0,80 < HS \leq 1,20$	Grossa	Indicadas para vias rápidas $V > 120\text{km/h}$
$HS > 1,20$	Muito Grossa	Aplicável em casos especiais

Fonte: Adaptado pelo autor, com base na bibliografia de DNIT (2006) e Mattos (2009).

2.8.1.1.1 Análise da macrotextura encontrada em literaturas

Oliveira *et al.* (2002), através do ensaio em trecho experimental utilizando o revestimento *Cape Seal*, constaram uma média aritmética de 0,84 mm para o pavimento em estudo.

Aps (2006) realizou o ensaio da macrotextura em diversos pontos da cidade de São Paulo, onde foram realizados testes em vários tipos de revestimentos. No entanto, para essa pesquisa foi feito um filtro de dados obtidos entre o CBUQ e o microrrevestimento (que junto com o TSD compõe o *Cape Seal*), onde o revestimento em CBUQ obteve microtextura média de 0,51mm e o microrrevestimento obteve média de 0,73mm.

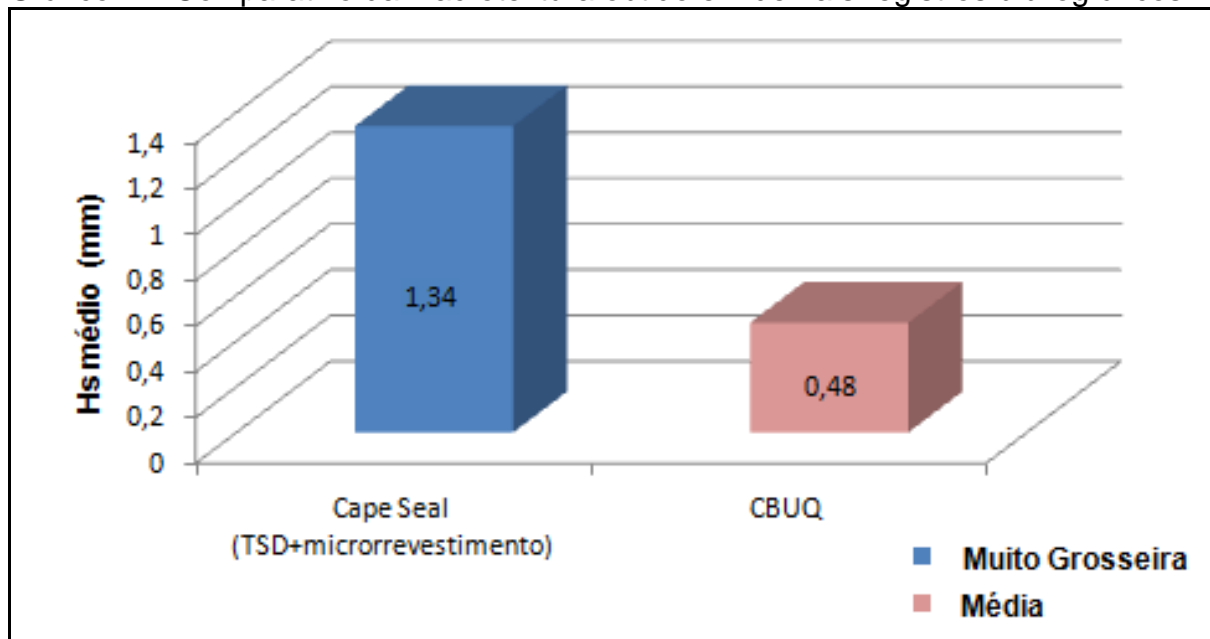
Specht *et al.* (2007) realizaram um comparativo da macrotextura em diferentes tipos de revestimentos utilizados no Rio Grande do Sul. Após análise, os autores encontraram para o revestimento em CBUQ uma macrotextura média de 0,42 mm e para os elementos que compõem o *Cape Seal* (TSD+MR) os valores obtidos foram de 2,30 mm para o tratamento superficial duplo (TSD) e de 1,53 mm para o microrrevestimento (MR).

Mattos (2009) realizou ensaios de macrotextura em três revestimentos (microrrevestimento, concreto asfáltico e placa de concreto) na rodovia BR-290, entre as cidades de Osório e Porto Alegre/RS. Entretanto, nesta pesquisa, foram somente considerados os valores obtidos para o microrrevestimento (0,62 mm) e para o concreto asfáltico (0,52 mm).

Vasconcelos (2013) realizou o ensaio de Mancha de Areia após aplicação de 1000 ciclos em simulador de tráfego. Após a passagem pelo simulador, foi encontrado o valor para o microrrevestimento de 2,82 mm e para o *Cape Seal* de 0,51mm.

Com base nos resultados dos estudos comparativo entre os autores Oliveira *et al.* (2002), Aps (2006), Specht *et al.* (2007), Mattos (2009) e Vasconcelos (2013) foi possível realizar um estudo comparativo entre os revestimentos, de modo a obter os resultados do Gráfico 4, que mostra uma grande diferença quanto a macrotexturas dos revestimentos, onde o *Cape Seal* obteve classificação muito superior(muito grosseira) ao CBUQ(média)

Gráfico 4 – Comparativo da macrotextura obtido em demais registros bibliográficos



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados obtidos de Oliveira *et al.* (2002), Aps (2006), Specht *et al.* (2007), Mattos (2009) e Vasconcelos (2013).

2.8.1.2 Microtextura

Conforme Berthier *apud* Mattos (2009), a microtextura de um pavimento depende da aspereza dos agregados, que se dá em função da composição mineralógica e estrutura dos agregados. Para se obter um bom desempenho, os granulares devem exibir características como apresentar e conservar as arestas

vivas, pelo maior tempo possível; resistir ao tráfego; propiciar ao polímero uma boa resistência.

“A microtextura trata-se do fator mais significativo para o desgaste e, além disso, indica que a abrasividade sofre influência climática, pois aumenta em dias chuvosos” (CARDOSO *apud* VEITH E LE MAITRE, 2010, p. 31).

O equipamento de medição da microtextura trata-se do Pêndulo Britânico (item 3.3.3), que gera o Valor de Resistência à Derrapagem (VRD) de um pneumático padrão derrapando sobre o pavimento a 48 km/h (IPR-720/DNIT, 2006).

De acordo com Loiola (2009), a classificação da microtextura se dá em função do valor de resistência à derrapagem (VRD) – medido através do dinamômetro contido em uma das extremidades do Pêndulo Britânico. A partir daí, classifica-se a microtextura em níveis que variam entre muito rugosa a perigosa, conforme pode ser analisado na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação à derrapagem conforme VRD

Classe	VRD
1 – Perigosa	<25
2- Muito lisa	25 a 31
3- Lisa	32 a 39
4 - Insuficientemente rugosa	40 a 46
5 - Medianamente rugosa	47 a 54
6 – Rugosa	55 a 75
7 - Muito rugosa	>75

Fonte: IPR-720/DNIT (2006).

2.8.1.2.1 Resultados obtidos de microtextura em literaturas

Assim como no ensaio da macrotextura, Oliveira *et al.* (2002) realizaram com o uso do Pêndulo Britânico, os testes de microtextura nos pavimentos de revestimento *Cape Seal* e encontraram o resultado médio do VRD de 59, o que caracteriza a resistência à derrapagem como rugosa.

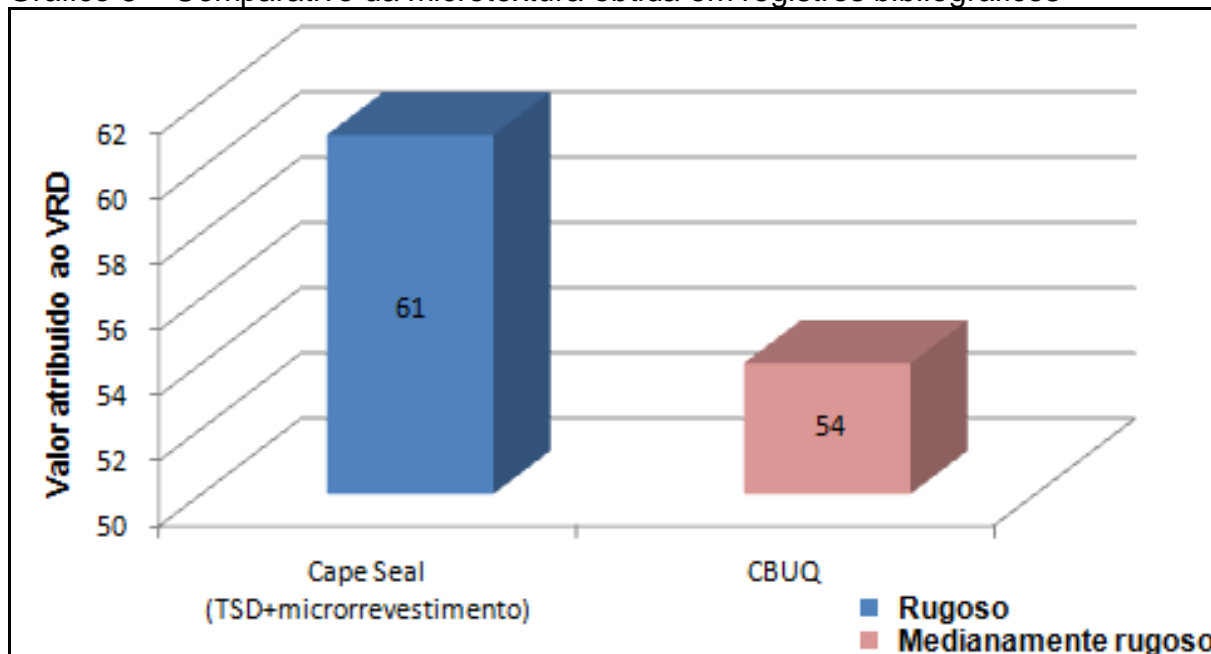
Aps (2006), por meio de seus ensaios encontrou um valor médio de VRD de 55,11 para o revestimento em CBUQ, e para a camada com microrrevestimento (que compõe o *Cape Seal*) foi atribuído o VRD médio de 53,7.

Mattos (2009), após realização de testes de microtextura para os pavimentos analisados em sua pesquisa na rodovia BR-290, entre as cidades de Osório e Porto Alegre/RS, encontrou os resultados médios com VRD de 53 para o revestimento em concreto asfáltico (CBUQ), e para o microrrevestimento o valor médio de VRD foi de 60.

Vasconcelos (2013), mediante verificação da microtextura após aplicação de ciclos de passagem utilizando pneumático fez o ensaio de microtextura sendo que os revestimentos TSD e *Cape Seal* apresentaram os VRD=60 e VRD=61 respectivamente.

Com base nas informações obtidas por meio de Oliveira *et al.* (2002), Aps (2006), Mattos (2009) e Vasconcelos (2013), foi criado o Gráfico 5, onde encontraram-se valores relativamente próximos para os revestimentos em CBUQ e *Cape Seal* (considerando valores encontrados para o tratamento superficial duplo e o microrrevestimento).

Gráfico 5 – Comparativo da microtextura obtida em registros bibliográficos



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados obtidos de Oliveira *et al.* (2002), Aps (2006), Mattos (2009) e Vasconcelos (2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, apresentam-se os procedimentos realizados para determinar a estrutura dos pavimentos estudados, com informações sobre a caracterização dos materiais contidos no subleito, sub-base, base e revestimento. É descrita também, a localização da obra analisada e são mencionados os materiais e métodos adotados de modo a atingir os objetivos propostos na pesquisa.

3.1 Descrição da obra analisada

O trabalho foi realizado na Alameda dos Plátanos, pertencente ao Condomínio Residencial *Landhaus*, de execução da empresa PAP Urbanizadora, o qual se situa na Rodovia RSC 453, em frente ao Jardim Botânico de Lajeado/RS (FIGURA 13).

Figura 13 – Localização do pavimento a ser analisado



Fonte: Do autor.

3.2 Métodos

Para analisar os pavimentos estudados nesta pesquisa, foi necessária uma prévia caracterização de todas as suas camadas, desde o subleito até os revestimentos em análise.

3.2.1 Caracterização do subleito

De acordo com o mapa de solos do Rio Grande do Sul de Streck *et al.* (2008), apresentado na Figura 14, o solo na cidade de Lajeado possui dois tipos de classificação, podendo apresentar em alguns pontos o solo com o termo Nitossolo vermelho Distroférrico (Nvdf) ou pelo termo Chernossolos (MXo).

Figura 14 – Mapa de Solos de Lajeado e região



Fonte: Streck *et al.* (2008).

De acordo com Streck *et al.* (2008), os Nitossolos são solos profundos, de cor avermelhada, devido a seu incremento com a argila. Já os Chernossolos caracterizam-se por razoáveis teores de material orgânico – apresentando cores escuras – o que leva a concluir que, conforme a coleta de material do local onde foi feita a pesquisa, classifica-se como Nitossolo devido à sua cor avermelhada, característica de solo argiloso, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Material argiloso oriundo do subleito



Fonte: Do autor.

Após a coleta do material argiloso do local, foi realizado o ensaio de compactação Proctor (ANEXO A) – no qual se determina o peso específico aparente seco máximo e umidade ótima do material. Compactou-se a amostra em molde cilíndrico e com o uso do soquete foram aplicados 25 golpes (energia normal)

distribuídos uniformemente por três vezes, em camadas iguais do molde cilíndrico. Após a retirada do molde, a amostra foi partida ao meio e foi feita a coleta de uma pequena quantidade para determinação do teor de umidade da amostra.

Figura 16 – Ensaio de compactação



Fonte: Do autor.

Na sequência, realizou-se uma moldagem de um corpo de prova a partir dos parâmetros obtidos no ensaio de compactação para a determinação do CBR do subleito. O corpo de prova moldado ficou imerso na água por um período de quatro dias para saturação e verificação da expansão do material. Após os quatro dias, rompeu-se o corpo de prova na prensa para execução do ensaio de CBR – que pode ser conferidos no Anexo A. Encontrou-se para o subleito o valor de CBR igual a 8,86% e expansão de 0,12mm, atendendo os valores especificados no IPR-719/DNIT (2006).

Com base no material passante pelas peneiras granulométricas, e também pelos limites de Atterberg, classificou-se o solo, pela AASHTO, como sendo do tipo A-2-4.

Quadro 13 – Classificação do solo

CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONFORME AASHTO		
Critério	Real	Análise
%passante peneira nº10	98,70%	Exclui-se a coluna A-1-A
%passante peneira nº40	95,50%	Exclui-se a coluna A-1-B
%passante peneira nº200	79,80%	Exclui-se coluna A-3
Limite de Liquidez passante na peneira nº40	NL	
Índice de plasticidade passante na peneira nº40	-	
Resultado obtido:		A-2-4

Fonte: Adaptado pelo autor com base em dados obtidos no pela granulometria obtida.

Quanto à classificação SUCS, o subleito recebeu classificação CL, devido ao fato de mais de 50% do material passar pela peneira nº 200.

3.2.2 Caracterização da sub-base

Na sub-base do pavimento em análise, com 15 centímetros de espessura, o material utilizado foi o rachão, em virtude da grande oferta desse tipo de material no local. Segundo Michelin (2012) o rachão possui aplicabilidade tanto em aterros quanto na camada de acima do subleito ou reforço do subleito. Sua produção acontece mediante derivados da britagem de rocha basáltica, como é o caso do rachão utilizado na camada de sub-base, decorrente da detonação de rocha existente no local.

Figura 17 – Rachão proveniente da detonação de pedra

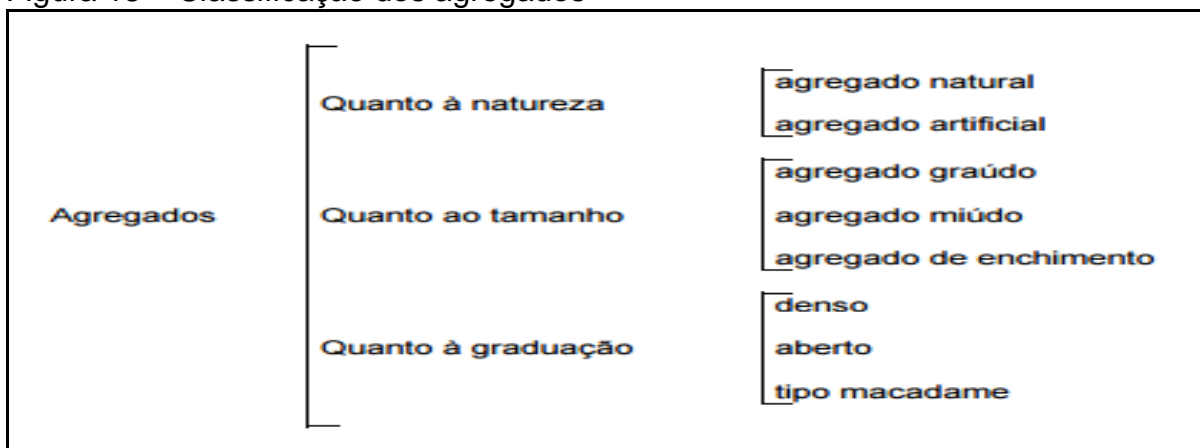


Fonte: Do autor.

3.2.3 Caracterização da base

A base utilizada no pavimento, com 13 centímetros de espessura, constitui-se de uma brita graduada simples (BGS), sendo classificada, conforme IPR-172/DNIT (2006), num agregado natural graúdo, de graduação aberta.

Figura 18 – Classificação dos agregados



Fonte: IPR-172/DNIT (2006).

Figura 19 – Acompanhamento da etapa de execução da base



Fonte: Do autor.

Para obter a classificação da base, coletou-se uma amostra com a empresa fornecedora do agregado, e realizou-se a análise granulométrica conforme ES-303/DNER (1997), onde o material foi classificado, sendo encontrado dentro da faixa granulométrica, onde obteve-se o Quadro 14 – que comprova que a amostra encontra-se dentro da Faixa A da ES-303/DNER (1997).

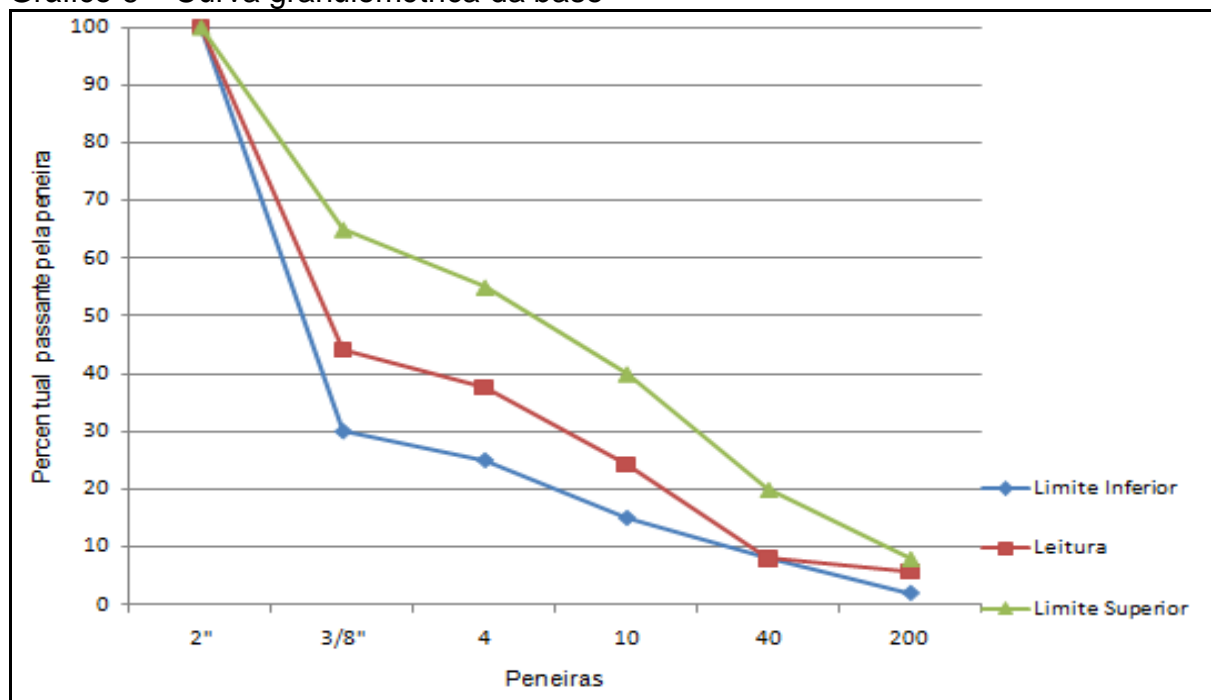
Quadro 14 – Análise granulométrica da base

Peneiras	Para N > 5x10^6				Para N< 5x10^6		Tolerâncias da faixa de projeto	Análise granulométrica	
	A	B	C	D	E	F		Leitura	Observação
	% em peso passando								
2"	100	100	-	-	-	-	±7	100	Faixa A ou Faixa B
1"	-	75-90	100	100	100	100	±7		
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	±7	44,1	Faixa A
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	±5	37,7	Faixa A
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	±5	24,3	Faixa A
Nº 40	08-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	±2	8,0	Faixa A
Nº200	02-08	05-15	05-15	10-25	06-20	08-25	±2	5,8	Faixa A

Fonte: Adaptado pelo autor com base na ES-303/DNER (1997).

Após a caracterização da análise granulométrica, traçou-se a curva granulométrica, para fins de comprovação de que o material estaria dentro dos limites inferiores e superiores, conforme Gráfico 6.

Gráfico 6 – Curva granulométrica da base



Fonte: Do autor, com base na leitura do Quadro 14.

3.2.4 Classificação do revestimento em CBUQ

Devido à importância granulométrica, o material constituinte do pavimento em análise foi submetido ao ensaio de classificação granulométrica, por meio do qual se obteve a classificação C, conforme ES-031/DNIT (2006). No Quadro 15, constam os dados obtidos a partir da amostra.

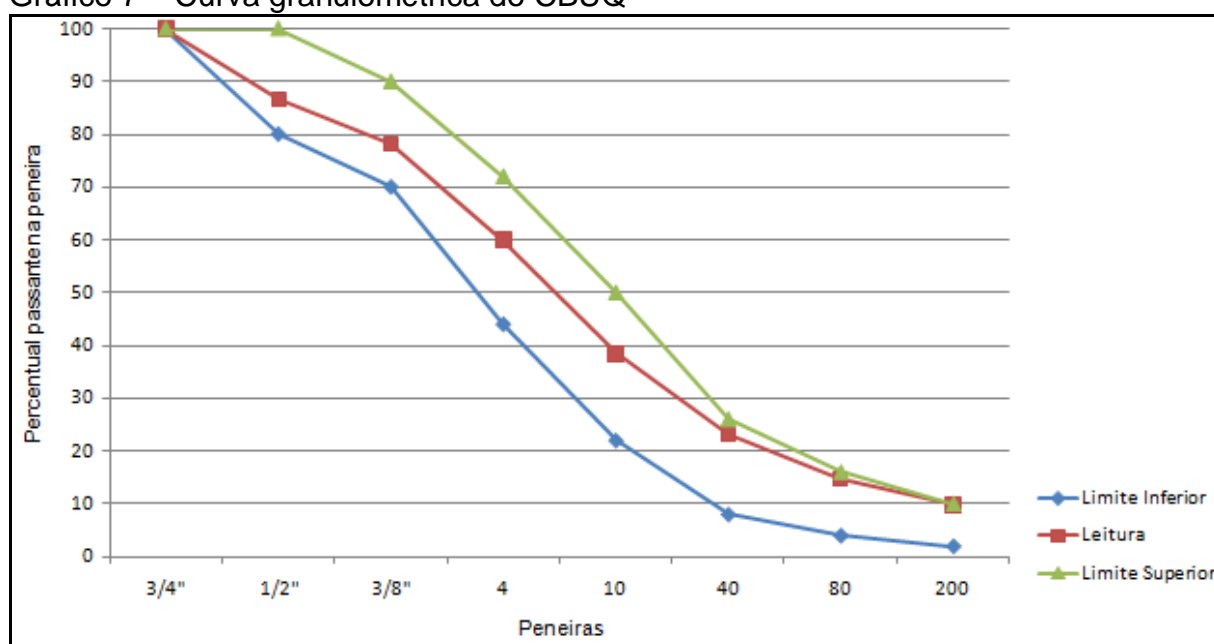
Quadro 15 – Análise granulométrica do CBUQ

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando				Leitura	Observação
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias		
2"	50,8	100	-	-	-		
1 1/2"	38,1	95-100	100	-	±7%		
1"	25,4	75-100	95-100	-	±7%		
3/4"	19,1	60-90	80-100	100	±7%	100	Enquadra-se na faixa B ou C
1/2"	12,7	-	-	80-100	±7%	86,57	Faixa C
3/8"	9,5	35-65	45-80	70-90	±7%	78,13	Faixa C
Nº 4	4,8	25-50	28-60	44-72	±5%	60,02	Faixa C
Nº 10	2	20-40	20-45	22-50	±5%	38,40	Faixa C
Nº40	0,42	10-30	10-32	8-26	±5%	23,17	Faixa C
Nº80	0,18	05-20	8-20	4-16	±3%	14,69	Faixa C
Nº200	0,075	1-8	3-8	2-10	±2%	9,84	Faixa C
Asfalto solúvel no CS2 (+) (%)		4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	±0,3%	CLASSIFICAÇÃO:	
						Faixa C	

Fonte: Adaptado pelo autor com base na ES-031/DNIT (2006).

Por meio dos dados obtidos no Quadro 15, foi traçada a curva granulométrica para o CBUQ, por meio da qual comprova que a mistura encontra-se dentro da faixa C da ES-031/DNIT (2006).

Gráfico 7 – Curva granulométrica do CBUQ



Fonte: Do autor, com base na leitura do Quadro 15.

3.2.5 Classificação do revestimento em *Cape Seal*

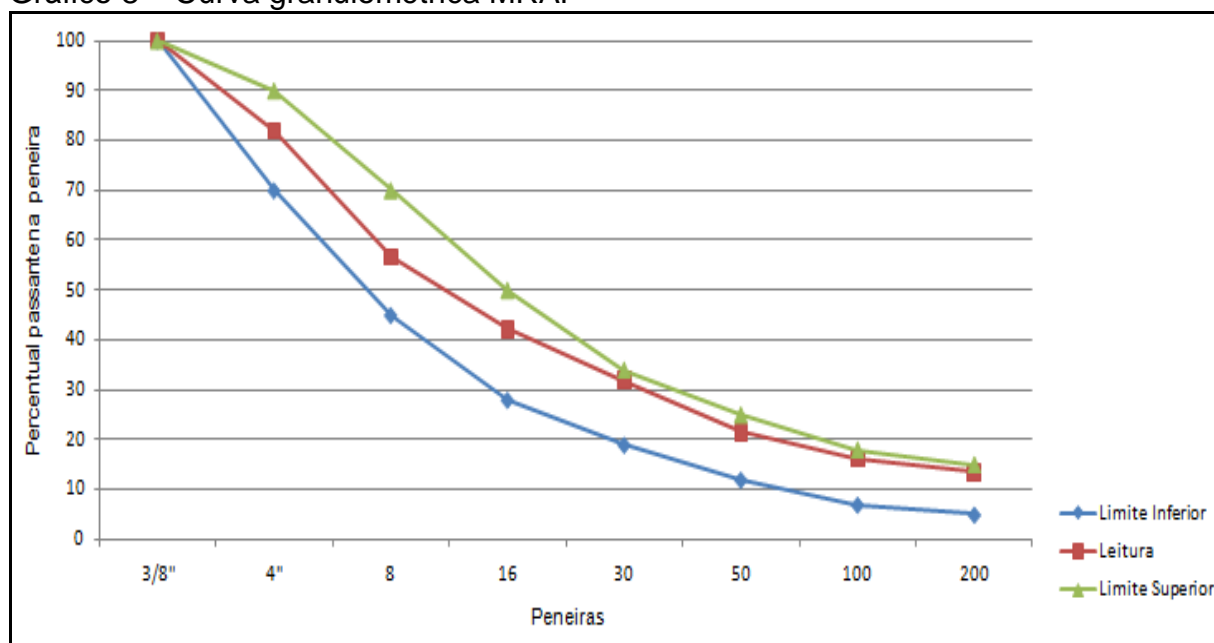
Mediante análise da curva granulométrica dos agregados que compõem o microrrevestimento asfáltico e de acordo com as faixas granulométricas estipuladas pela ES-035/DNIT (2005), pode-se dizer que a granulometria encontra-se dentro da faixa II. No Quadro 16, encontra-se o resultado obtido mediante análise granulométrica – o qual gerou o Gráfico 8, onde consta a curva granulométrica.

Quadro 16 – Análise granulométrica do MRAF

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA						ANÁLISE	
Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em peso				Leitura	Observação
Peneiras		Faixa I	Faixa II	Faixa III	Tolerância da curva do projeto (%)		
Nome	Abertura (mm)						
1/2"	12,5	-	-	100	-		
3/8"	9,5	100	100	85-100	±5	100	Faixa I ou Faixa II ou Faixa III
Nº 4	4,75	90-100	70-90	60-87	±5	81,93	Faixa II ou III, exclui-se faixa I
Nº 8	2,36	65-90	45-70	40-60	±5	56,63	Faixa II ou Faixa III
Nº 16	1,18	45-70	28-50	28-45	±5	42,09	Faixa II ou Faixa III
Nº 30	0,6	30-50	19-34	19-34	±5	31,93	Faixa II ou Faixa III
Nº 50	0,33	18-30	12-25	14-25	±5	21,46	Faixa II ou Faixa III
Nº 100	0,15	10-21	7-18	8-17	±5	16,18	Faixa II ou Faixa III
Nº200	0,075	5-15	5-15	4-8	±3	13,44	Faixa II

Fonte: Adaptado pelo autor, com base na ES-035/DNIT (2005).

Gráfico 8 – Curva granulométrica MRAF



Fonte: Do autor com base na leitura do Quadro 16.

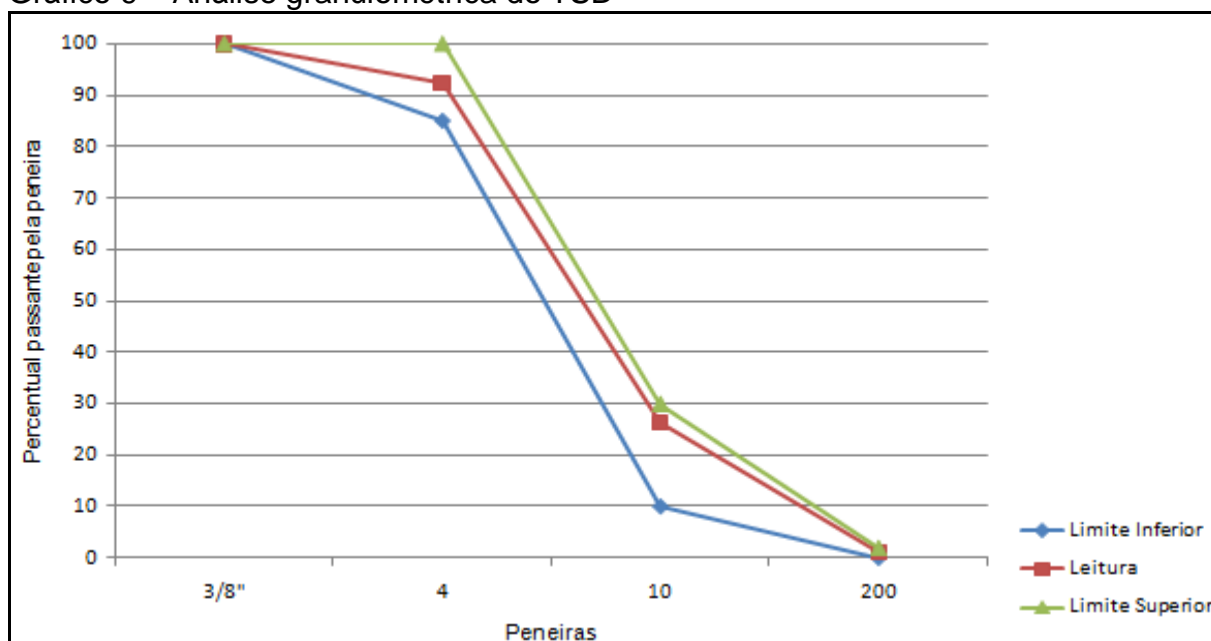
Para o tratamento superficial duplo (TSD), o controle granulométrico deve ser feito utilizando faixa A ou B na primeira aplicação do tratamento e a faixa C ou D da segunda aplicação do tratamento. Assim, conforme controle granulométrico do TSD que compõe o *Cape Seal*, é possível verificar que a granulometria utilizada no tratamento corresponde à faixa C, conforme pode ser visto no Quadro 17 e Gráfico 9.

Quadro 17 – Análise granulométrica do TSD

Orientações conforme ES-309/DNER					Análise			
Peneiras	A 1ª camada	B 1ª camada ou 2ªcamada	C 2ª camada	Tolerâncias da faixa de projeto	Leitura 1ªcamada	Observação	Leitura 2ªcamada	Observação
1"	100	-	-	±7	100	Faixa A		
3/4"	90-100	-	-	±7	97,3	Faixa A		
1/2"	20-55	100	-	±7	44,5	Faixa A		
3/8"	0-15	85-100	100	±5	8,3	Faixa A	100	Faixa C
Nº 4	0-5	10-30	85-100	±5	0,3	Faixa A	92,5	Faixa C
Nº 10	0	0-10	10-40	±5	-	Faixa A	26,3	Faixa C
Nº200	0-0,5	0-2	0-2	±2	0,3	Faixa A	1,1	Faixa C

Fonte: Adaptado pelo autor, com base na ES-309/DNER (1997).

Gráfico 9 – Análise granulométrica do TSD



Fonte: Do autor com base na leitura do Quadro 17.

No pavimento do tipo *Cape Seal* utilizou-se tanto no MRAF quanto no TSD a emulsão asfáltica RR-2C, a qual possui excelente adesividade do ligante asfáltico e propicia rápida coesão da película asfáltica.

3.2.6 Análise estrutural do pavimento

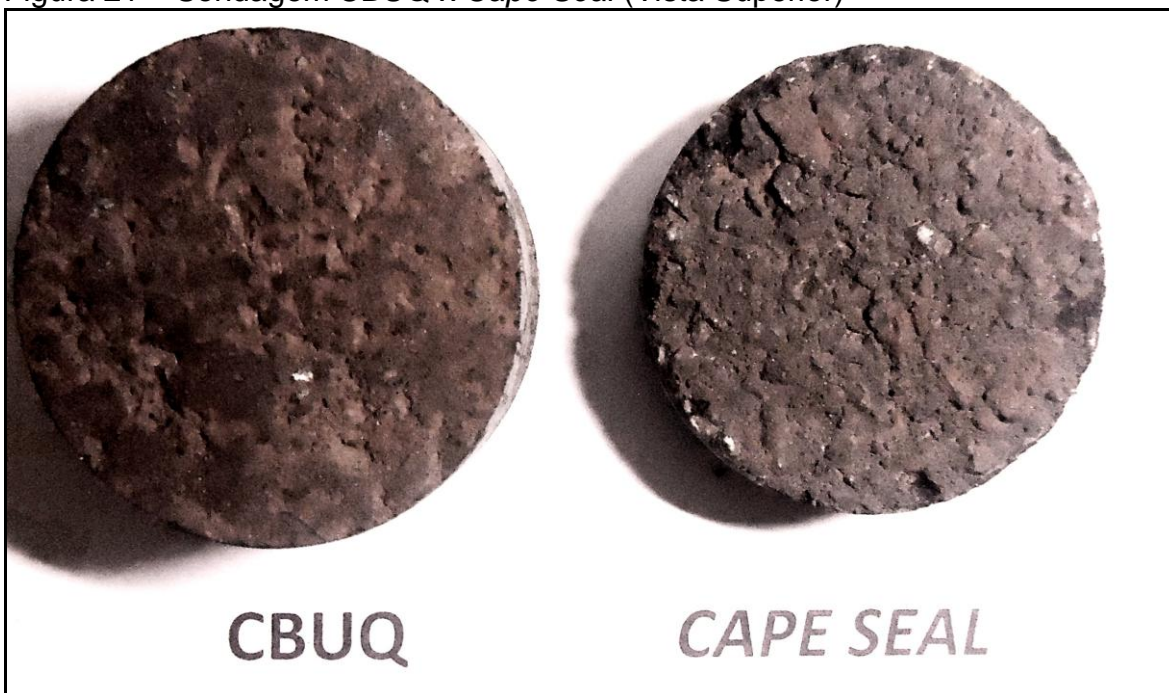
Para fins de verificação das espessuras de CBUQ e *Cape Seal*, realizaram-se extrações do revestimento com sondagem rotativa e, após coleta dos materiais, foram medidas as amostras com o uso de uma trena, sendo que se obteve as espessuras mencionadas na Figura 20. Nas Figuras 21 e 22, podem ser observados os aspectos dos corpos de provas extraídos nos dois revestimentos estudados.

Figura 20 – Sequência da execução do teste de sondagem



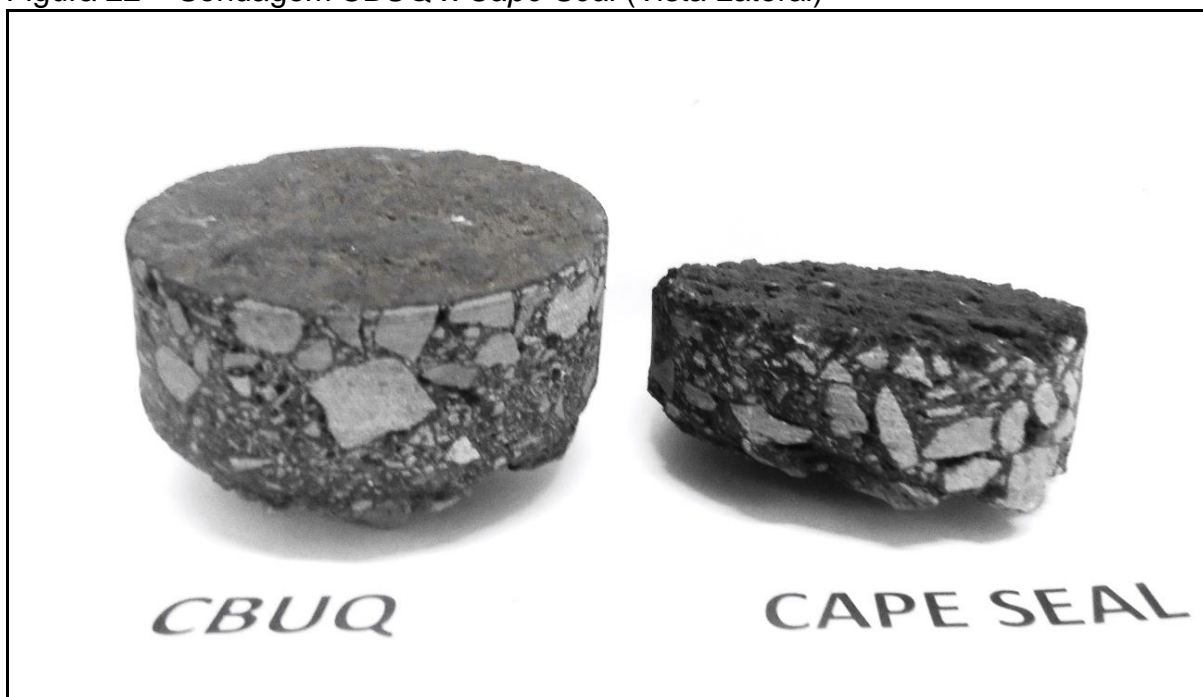
Fonte: Do autor.

Figura 21 – Sondagem CBUQ x Cape Seal (Vista Superior)



Fonte: Do autor.

Figura 22 – Sondagem CBUQ x Cape Seal (Vista Lateral)



Fonte: Do autor.

3.3 Materiais

Buscando atender à proposta deste trabalho, foram utilizados os seguintes ensaios:

- Macrotextura: ensaio da Mancha de Areia;
- Microtextura: ensaio do Pêndulo Britânico;
- Deflexões: ensaio com a viga Benkelman.

Delimitou-se em cinco, o número de ensaios de macrotextura e microtextura dos revestimentos, conforme pode-se visualizar na Figura 23.

Figura 23 – Delimitação dos pontos analisados nos ensaios de macrotextura e microtextura



Fonte: Do autor.

3.3.1 Ensaio de Mancha de Areia

Segundo Specht *et al.* (2007), o método consiste no espalhamento da quantia de 25.000 mm³ de material granulométrico, que deve ser pesado em balança de alta precisão. Após, são feitos movimentos circulares com dispositivo, sendo um espalhador com disco de madeira com revestimento de borracha sobre o pavimento limpo e seco, com grau de esfericidade superior a 90%. Por fim, mede-se o diâmetro em três pontos de cada amostra e finaliza-se o ensaio.

Na Figura 24, pode-se ter uma concepção de como é feita a leitura do ensaio da Mancha de Areia, a qual é feita por meio do espalhamento de uma quantia de 25.000 mm³ de areia, espalhada de forma circular no pavimento com o auxílio de um disco de madeira, onde é feita a medição do diâmetro com uma régua metálica – com base na média dos diâmetros em cada um dos pontos analisados.

Figura 24 – Leitura do ensaio da Mancha de Areia



Fonte: Do autor.

Por fim, mede-se o tamanho da mancha e obtém-se a média, por meio da fórmula abaixo – conhecida como altura de areia ou altura de macrotextura:

$$h_m = 4V / (d_m^2 * \pi)$$

Onde:

h_m = altura média da areia

V = volume

d_m = média das medidas da mancha na superfície do pavimento

3.3.2 Pêndulo Britânico

Segundo o IPR-720/DNIT (2006), o Pêndulo Britânico é uma placa de borracha que simula a superfície de um pneumático de veículo automotor, que quando liberado em queda livre, fricciona a superfície do pavimento, onde é

determinado um grau de derrapagem do pavimento, chamado de VRD (Valor de Resistência a Derrapagem), que pode ser classificado entre perigosa a muito rugosa – conforme Tabela 6, do item 2.8.1.2 deste trabalho.

O Pêndulo Britânico consiste em montar um aparelho em sua base composta por um pequeno pedestal, munido de nível de bolha, de três pés ajustáveis, uma coluna e um calço de regulagem presa na base. Após, deve-se ajustar a base na horizontal com o parafuso de calagem, devendo a bolha permanecer nivelada.

Segundo Mattos (2009), as etapas de leitura do Pêndulo Britânico consistem basicamente em zerar a escala da textura; ajustar a área de contato; molhar o pavimento; posicionar e nivelar o Pêndulo Britânico e realizar a leitura do BPN.

Após a etapa da leitura do valor de BPN (*British Pendulum Number*), é feita a classificação do pavimento, conforme Tabela 6 do item 2.8.1.2.

Figura 25 – Leitura do Pêndulo Britânico



Fonte: Do autor.

3.3.3 Viga Benkelman

3.3.3.1 Aferição da viga Benkelman

Segundo a IP-DE-P00-004/DNER (2006), antes de iniciar o levantamento da determinação da viga Benkelman, é necessário que se faça a verificação quanto à aferição do equipamento, levando em consideração dados fornecidos pela PRO-175/DNER (1994).

Para que fosse possível determinar a deflexão dos pavimentos em análise com o uso da viga Benkelman foi verificada a calibração do equipamento. A aferição procedeu-se segundo critérios estipulados pela DNER-PRO 175 (1994):

- Posicionamento da viga Benkelman em uma mesa de madeira ou similar (posicionou-se sob uma bancada plana, de concreto);
- Liberação da trava da viga;
- Apoio da ponta de prova no centro do prato da prensa de modo a receber os movimentos verticais do conjunto de articulação;
- Ativação do vibrador da viga;
- Fixação do extensômetro no tirante de aço da prensa, de forma que a ponta apalpadora toque no prato da prensa;
- Ajuste da viga – de modo a zerar o extensômetro;
- Acionamento da manivela da prensa com dispositivo micrométrico a uma velocidade aproximada de 0,5mm/min num total de 15 leituras- conforme Quadro 18;
- Repetição da sequência acima, mais uma vez, para caracterização da aferição.

No Quadro 18, encontram-se os resultados obtidos por meio da aferição da viga Benkelman, onde constam na coluna da esquerda (X_{pi}) os pontos lidos num extensômetro que geram as determinantes (X_{vi}) e, então, é obtida a diferença X_i .

Quadro 18 – Leituras da aferição da viga Benkelman

X_{pi} (0,01mm)	X_{vi} (0,01 mm)		$X_i = X_{pi} / X_{vi}$	
(0,01 mm)	1ª Determ.	2ª Determ.	1ª Determ.	2ª Determ.
10	9	6	1,11	1,67
20	13	11	1,54	1,82
30	17	15	1,76	2,00
40	21	19	1,90	2,11
50	26	25	1,92	2,00
60	30	29	2,00	2,07
70	35	33	2,00	2,12
80	39	37	2,05	2,16
100	48	49	2,08	2,04
120	55	58	2,18	2,07
140	62	67	2,26	2,09
160	71	77	2,25	2,08
180	79	86	2,28	2,09
200	89	96	2,25	2,08
220	99	105	2,22	2,10

Fonte: Do autor.

Seguindo os dados constantes na normativa DNER-PRO 175 (1994), realizou-se o cálculo da média aritmética entre os determinantes (coluna X_{vi} do Quadro 18); desvio padrão; desvio padrão da média; erros e limites de intervalo de confiança. Devem ser utilizadas as seguintes fórmulas:

- a) Relações entre as leituras lidas no extensômetro (X_{pi}) e as correspondentes lidas no extensômetro da viga (X_{vi}):

$$X_i = X_{pi} / X_{vi}$$

- b) Média aritmética da relação:

$$a) \bar{X} = \sum^N X_i / N \geq 30$$

Onde:

$\sum X_i$: é obtido através da 1ª determinante e 2ª determinante do Quadro 24

N : é a quantia de leituras obtidas através da 1ª determinante e 2ª determinante

b) Desvio padrão:

$$c) \sigma = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / N-1}$$

Onde:

X_i : resulta do valor obtido em a)

\bar{X} : resulta do valor obtido em b)

N: é a quantia de leituras obtidas através da 1ª determinante e 2ª determinante

d) Erro de estimativa da média:

$$\varepsilon_0 = 2,045 * \sigma (\bar{X})$$

Onde:

σ : resulta do valor obtido em c)

\bar{X} : resulta do valor obtido em b)

e) Limites de intervalos de confiança:

$$Li = \bar{X} - \varepsilon_0$$

$$Ls = \bar{X} + \varepsilon_0$$

Onde:

\bar{X} : resultado valor obtido em b)

ε_0 : resultado valor obtido em d)

A obtenção dos resultados deu-se com o auxílio do *software* Excel, e gerou o Quadro 19.

Quadro 19 – Cálculos obtidos após aferição

Cálculos exigidos pela DNER-PRO 175/94	Resultado
1) Relação entre leituras do extensômetro solidário (X_{pi}) e leitura do extensômetro da viga (X_{vi})	60,31
2) Média aritmética da relação	2,010
3) Desvio padrão	0,241
4) Desvio padrão da média	0,044
5) Erro de estimativa da média ε_0	0,090
6) Limite Inferior (Li)	1,920
Limite Superior (Ls)	2,100

Fonte: Do autor.

Dependendo da relação entre os braços da viga, são adotados critérios de confiança para a aceitação da aferição da viga Benkelman, por meio da relação entre os braços da viga (QUADRO 19). Dessa forma, a confiança deve variar entre 1,90 a 2,10. Deve-se aceitar ou rejeitar a viga conforme os critérios abaixo (DNER-PRO 175/94):

- Caso I: Se $Li \geq \alpha_i$ e $Ls \leq \beta_i$, aceita-se a viga;
- Caso II: Se $Li < \alpha_i$ e $Ls < \beta_i$, rejeita-se a viga;
- Caso III: Se $Li > \alpha_i$ e $Ls > \beta_i$ ou $Li < \alpha_i$ e $Ls < \beta_i$ e se $\varepsilon_0 < (\beta_i - \alpha_i) / 2$, aceita-se a viga;
- Caso IV: Se $Li > \alpha_i$ e $Ls > \beta_i$ ou $Li < \alpha_i$ e $Ls < \beta_i$ e $\varepsilon_0 \geq (\beta_i - \alpha_i) / 2$, rejeita-se a viga.

Os valores mencionados como “ α_i ” e “ β_i ” citados nos quatro possíveis casos para aceitação/rejeição da viga referem-se aos intervalos de confiança da viga, que são obtidos por meio da relação entre os braços da viga (a/b), conforme Quadro 20.

Quadro 20 – Intervalos de confiança em função dos braços da viga

Relação entre braços da viga (a/b)	Intervalo de confiança $\alpha_i - \beta_i$
2:1	1,90 - 2,10
3:1	2,85 - 3,15
4:1	3,80 - 4,20

Fonte: Do autor.

Com base no Quadro 20 e nos critérios de aceitação/rejeição da viga pode-se dizer que a aferição encontra-se dentro do caso I:

$$L_i \geq \alpha_i \text{ e } L_s \leq \beta_i$$

$$1,92 \geq 1,90 \text{ e } 2,10 \leq 2,10$$

Portanto, o teste de aferição constatou que a viga é aceita e pode ser utilizada, devendo ser usada uma constante (K) que deve ser adotada para o cálculo das deflexões, por meio da seguinte fórmula, conforme DNER-PRO 175/94:

$$\alpha_i + (\beta_i + \alpha_i) / 2$$

$$1,90 + (2,10 - 1,90) / 2$$

Portanto, deve-se adotar $K = 2,00$

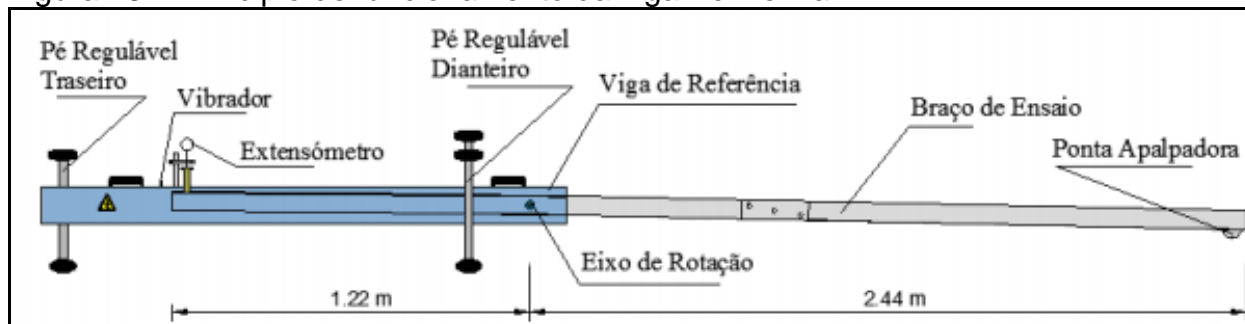
3.3.3.2 Funcionamento da viga Benkelman

De acordo com Francisco (2012), o modo de funcionamento da viga Benkelman consiste no princípio da alavanca que contém um braço de ensaio onde, no seu extremo, a ponta apalpadora e o conjunto funcionam como uma sonda alongada de 2,44 m de comprimento, e com o qual se obtêm as deflexões.

O braço de ensaio que se encontra por trás do eixo de rotação possui 1,22 m de comprimento e em seu extremo encontra-se um extensômetro com precisão de

0,01 mm que mede os efeitos das deflexões, conforme pode ser visto na Figura 26 (FRANCISCO, 2012).

Figura 26 – Princípio de funcionamento da viga Benkelman



Fonte: Francisco (2012).

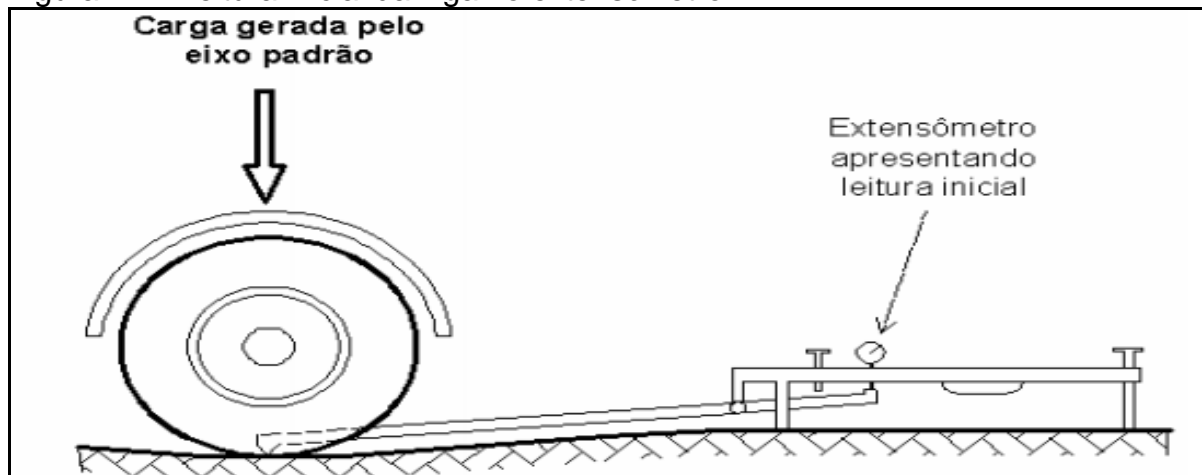
O princípio de funcionamento da viga Benkelman deve seguir as orientações de acordo com o ME-133/DNIT (2006):

- Introduzir a ponta de prova da viga Benkelman no meio da roda dupla direita;
- Assegurar um perfeito posicionamento da ponta de prova da viga na vertical do eixo traseiro;
- Assentar na superfície do pavimento, ao lado da cabina e sob visibilidade do motorista, uma régua de madeira com 3,00 metros de comprimento.
- O veículo de prova deverá apresentar uma referência fixa no pára-choque do caminhão para que quando houver deslocamento do veículo, a referência se desloque sobre a régua graduada de madeira;
- Soltar a trava da viga Benkelman;
- Ajustar o pé traseiro da viga para que o extensômetro fique na metade de seu curso.

Conforme Borges (2001), assim que o caminhão ESRD (eixo simples de roda dupla) estiver posicionado e a viga ajustada, liga-se o vibrador – que por sua vez encontra-se com carga gerada pelo eixo padrão - e faz-se a leitura inicial no extensômetro, como pode ser visto na Figura 27. Segundo Pereira (2007), após a

conclusão da leitura inicial (L_0), desloca-se lentamente o caminhão para frente cerca de dez metros e realiza-se a leitura final (L_f).

Figura 27 – Leitura inicial da viga no extensômetro



Fonte: Silva (2006)

Após o caminhão ESRD retornar, e ser realizada a leitura final (L_f) todos os dados obtidos no ensaio de deflexão deverão ser preenchidos conforme dados solicitados no Quadro 18, extraído e adaptado pelo autor de acordo com o ME-061/DNER (1994).

A adaptação do Quadro 21 foi feita, considerando que para obter o desenho da bacia de deformação, é preciso que os pontos entre L_0 a L_8 distem do eixo da carga traseira do caminhão nos pontos estabelecidos conforme ME-061/DNER (1994), portanto, o ponto L_0 deverá estar no ponto 0 cm (eixo da carga traseira); o ponto L_0 deverá distar a 25 cm do eixo da carga traseira e assim por diante, até chegar a leitura de 300 cm.

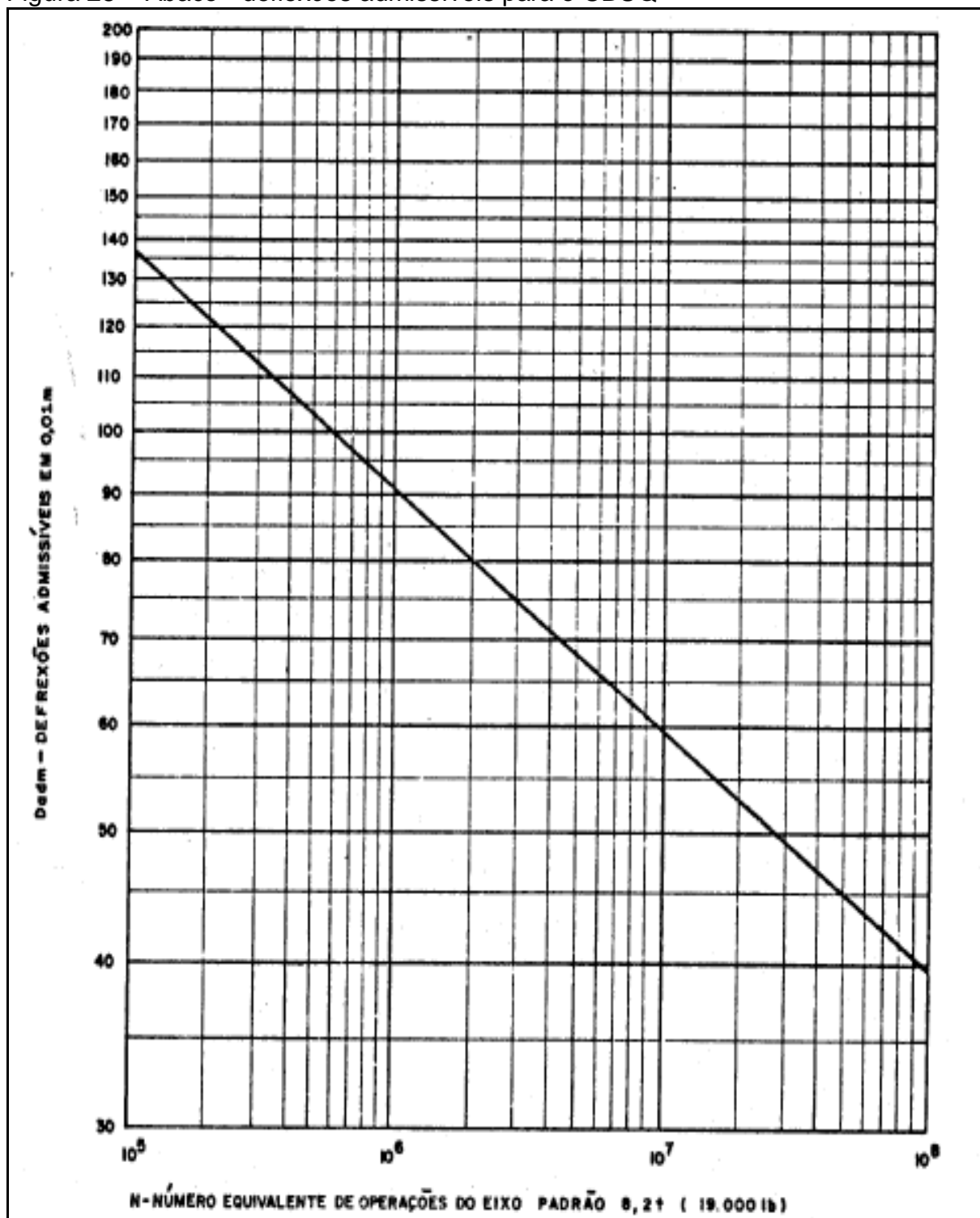
Quadro 21 – Tabela a preencher com dados da deflexão

Ln	Posição	Leitura do Extensômetro (mm)	Diferenças $L_f - L_n$ (mm)	Deflexões
	Distância (cm)			
L0	0			
L1	25			
L2	50			
L3	75			
L4	100			
L5	150			
L6	200			
L7	250			
L8	300			

Fonte: Do autor, adaptado do ME-061/DNER (1994).

Conforme PRO-011/DNER (1979), é possível obter por meio do ábaco valores admissíveis de deflexão para o revestimento do tipo CBUQ – a qual diminui conforme aumenta o número N (FIGURA 28).

Figura 28 – Ábaco - deflexões admissíveis para o CBUQ



Fonte: PRO-011/DNER (1979).

Para o revestimento em CBUQ analisado na pesquisa, foi adotado o valor de deflexão admissível igual a $135 \times 10^{-3} \text{ mm}$ - obtido através do Ábaco, visto que o trecho analisado é de baixa tráfegabilidade. Segundo PRO-011/DNER (1979), para revestimentos do tipo tratamento superficial, executados sobre a base granular, deve ser adotada como deflexão admissível o dobro do valor obtido pelo ábaco – portanto adotou-se o valor de $270 \times 10^{-3} \text{ mm}$ para o revestimento do tipo *Cape Seal*, uma vez que o mesmo se constitui de TSD+microrrevestimento.

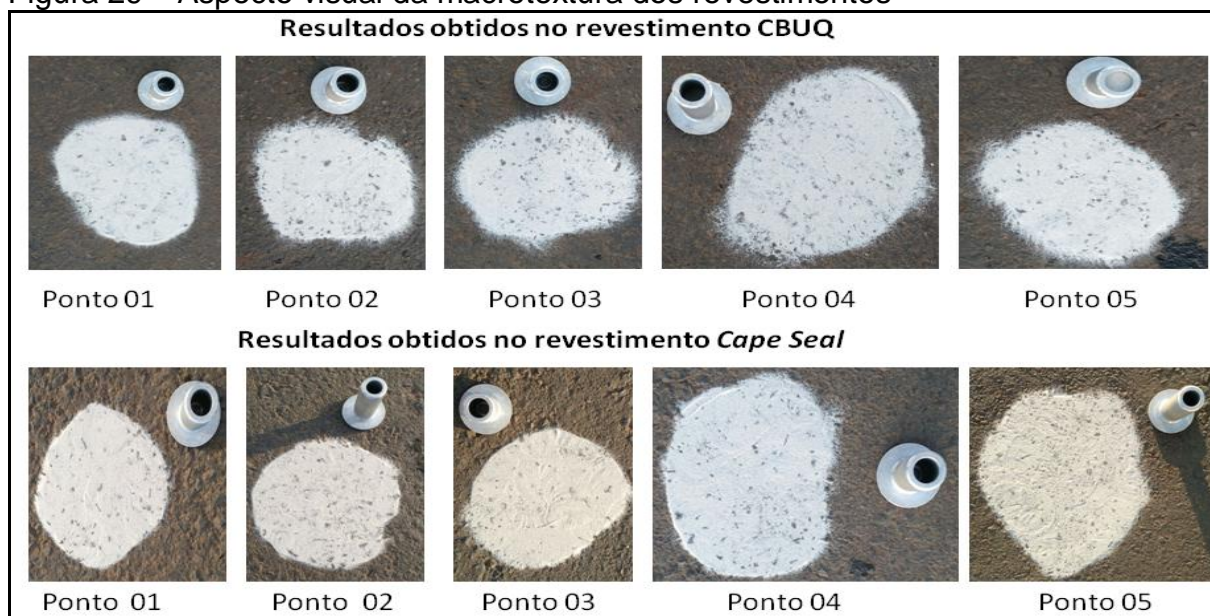
4 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se os resultados e as análises realizadas na pesquisa. O principal enfoque de resultados da pesquisa consistiu no levantamento de dados referentes à macrotextura e microtextura da superfície do pavimento, bem como a medição da deflexão no topo do pavimento. Após os levantamentos, os dados foram tabulados e, posteriormente, realizaram-se as comparações entre os dois tipos de revestimentos estudados.

4.1 Levantamento e análise da macrotextura

Após a definição dos pontos a serem ensaiados, realizou-se a limpeza com o uso de uma escova de mão macia. Em seguida, a areia contida no cilindro metálico foi espalhada sobre a superfície do pavimento de modo a preencher os vazios e formar um aspecto circular. Com o uso de uma trena foram obtidos os diâmetros médios de cada ponto. Na Figura 29 é possível visualizar o aspecto de cada revestimento.

Figura 29 – Aspecto visual da macrotextura dos revestimentos



Fonte: Do autor.

Com base nos diâmetros obtidos em cada um dos pontos, foram calculadas as alturas médias (H_s) – as quais foram verificadas no Quadro 12 deste trabalho (item 2.8.1.1), onde é possível classificar a macrotextura conforme escalas de H_s – que variam de classe muito fina a muito grosseira.

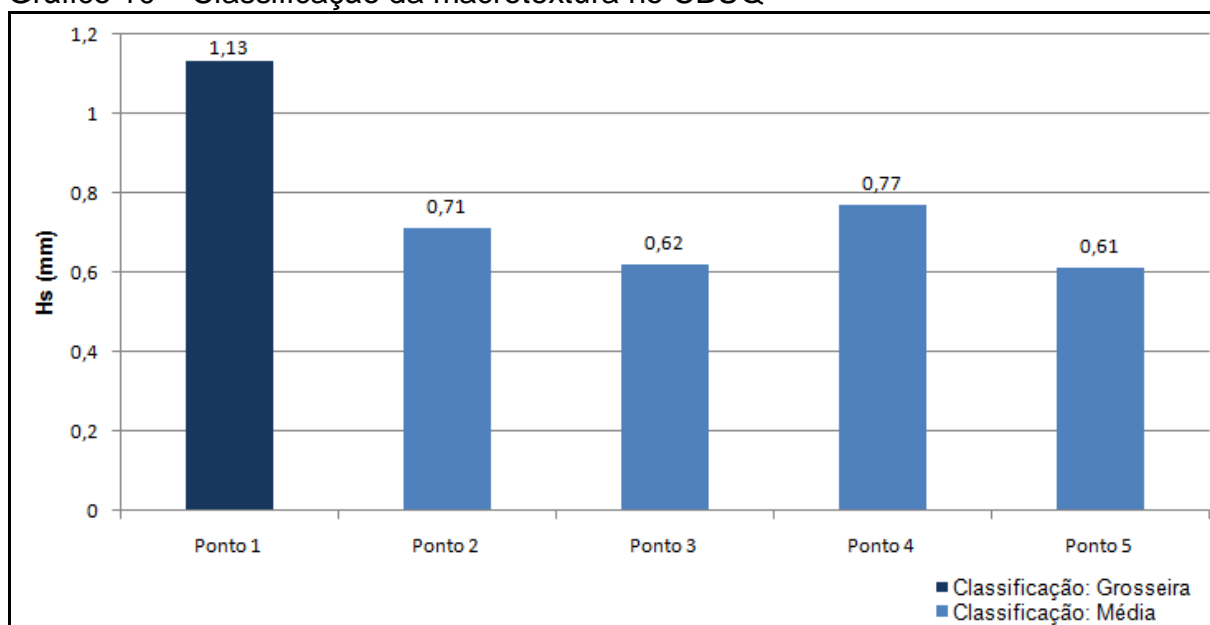
Verificou-se, por meio da média geral H_s , que ambos os revestimentos analisados obtiveram classificações similares, e a predominância dos pontos avaliados obteve classificação média. É possível verificar nos Quadros 22 e 23 todos os resultados obtidos durante o ensaio da macrotextura.

Quadro 22 – Resultado do levantamento do ensaio da macrotextura – Revestimento em CBUQ

	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05	
	Ø (cm)	H_s	Ø (cm)	H_s	Ø (cm)	H_s	Ø (cm)	H_s	Ø (cm)	H_s
Medição 01	16	1,24	22	0,66	23	0,6	19,5	0,84	23,5	0,58
Medição 02	17	1,1	20	0,8	22,5	0,63	20,5	0,76	22,5	0,63
Medição 03	17,5	1,04	21,5	0,69	22,5	0,63	21	0,72	22,5	0,63
Média Geral		1,13		0,71		0,62		0,77		0,61
Classificação	GROSSEIRA		MÉDIA		MÉDIA		MÉDIA		MÉDIA	

Fonte: Do autor.

Gráfico 10 – Classificação da macrotextura no CBUQ

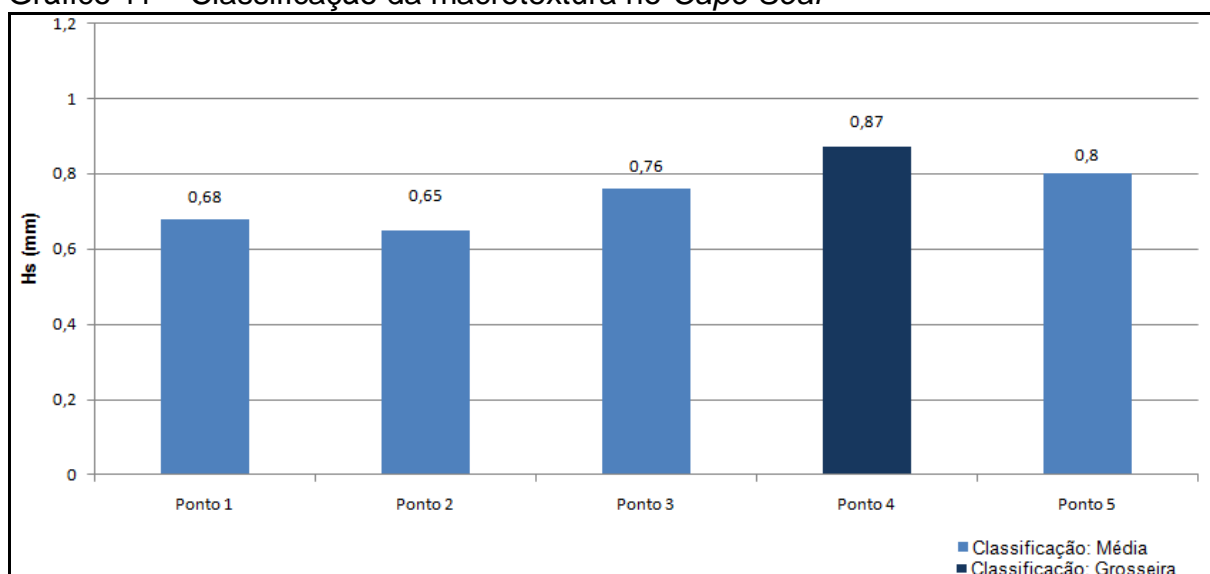


Fonte: Do autor.

Quadro 23 – Resultado do levantamento do ensaio da macrotextura – Revestimento em Cape Seal

	Ponto 01		Ponto 02		Ponto 03		Ponto 04		Ponto 05	
	Ø (cm)	Hs	Ø (cm)	Hs	Ø (cm)	Hs	Ø (cm)	Hs	Ø (cm)	Hs
Medição 01	20	0,8	20	0,8	23	0,6	17	1,1	19	0,88
Medição 02	25	0,51	25	0,51	19	0,88	20	0,8	21,5	0,69
Medição 03	21	0,72	22	0,66	20	0,8	21	0,72	19,5	0,84
Média Geral		0,68		0,65		0,76		0,87		0,8
Classificação	MÉDIA		MÉDIA		MÉDIA		GROSSEIRA		MÉDIA	

Fonte: Do autor.

Gráfico 11 – Classificação da macrotextura no *Cape Seal*

Fonte: Do autor.

De acordo com os resultados do levantamento das macrotexturas, pode-se perceber que tanto o revestimento do tipo CBUQ quanto o revestimento do tipo Cape Seal obtiveram as mesmas classificações quanto à macrotextura.

Visando a maior homogeneidade das amostras, calculou-se a média, desvio padrão e coeficiente de variação das amostras coletadas, conforme a fórmula a seguir:

- Para o cálculo da média, adotou-se a fórmula da média aritmética (\bar{x})

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Onde:

\bar{X} = média aritmética

x_1 = valores obtidos por meio das médias obtidas no Quadro 21 e Quadro 22

n = número de ensaios realizados

- O cálculo do desvio padrão foi feito conforme a fórmula a seguir:

$$\sigma = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / N-1}$$

Onde:

σ = desvio padrão

X_i = dado da série

n = número de ensaios realizados

- O coeficiente de variação (C.V) foi calculado por meio da seguinte fórmula

$$C.V = \sigma / \bar{X}$$

Onde:

C.V = coeficiente de variação

σ = desvio padrão

\bar{X} = média aritmética

O HSc foi obtido por meio da diferença entre a média obtida e o desvio padrão. Para facilitar a visualização dos resultados, foi criado o Quadro 24, que mostra resumidamente os resultados obtidos para cada um dos revestimentos analisados.

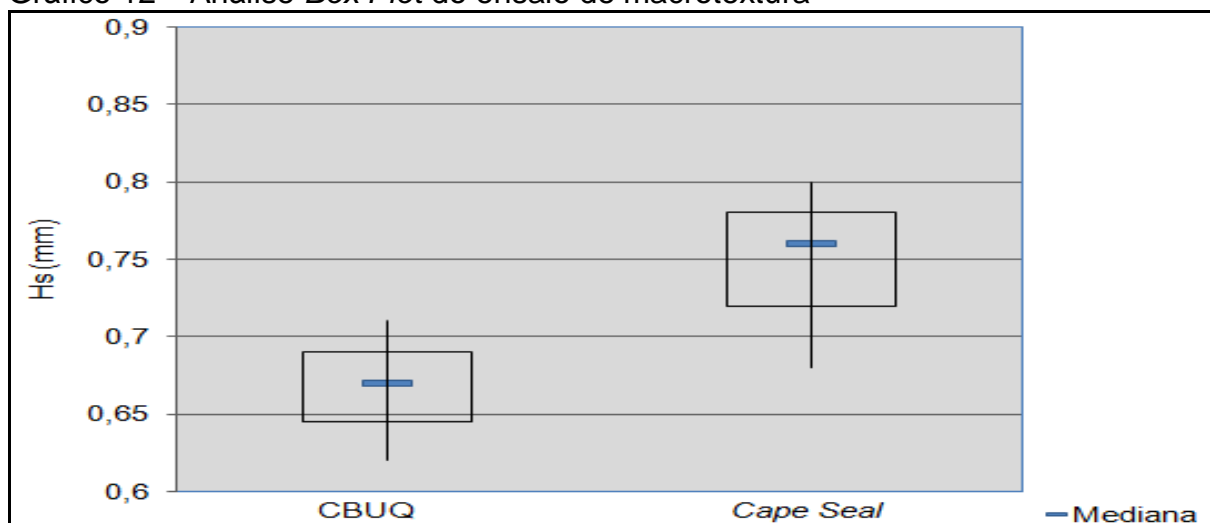
Quadro 24 – Análise das amostras dos revestimentos CBUQ e *Cape Seal* (macrotextura)

Revestimento	Média	Desvio Padrão	Coef.	Hsc (mm)
CBUQ	0,67	0,05	6,7%	0,62
Cape Seal	0,76	0,06	8,0%	0,70

Fonte: Do autor.

Para melhor precisão dos dados coletados, decidiu-se pela utilização do gráfico *Box Plot* – o qual mantém os dados da pesquisa removendo valores discrepantes – como máximas e mínimas em valores estatísticos. Com isso, obteve-se o Gráfico 12.

Gráfico 12 – Análise *Box Plot* do ensaio de macrotextura



Fonte: Do autor.

4.2 Levantamento de microtextura

Para a caracterização da microtextura, foram utilizados os mesmos pontos avaliados no ensaio da macrotextura (FIGURA 28). O equipamento utilizado nos pontos de análise da microtextura trata-se do Pêndulo Britânico – cujo ensaio é realizado com base na norma americana ASTM-E-303-93 (1998), em que é feito inicialmente o nivelamento do equipamento com o auxílio da bolha. Em seguida faz-se o lançamento do pêndulo, de modo que a sapata encoste no pavimento, sendo a área de contato do equipamento com o pavimento feita com o auxílio de uma régua que delimita a área atingida pela sapata emborrachada.

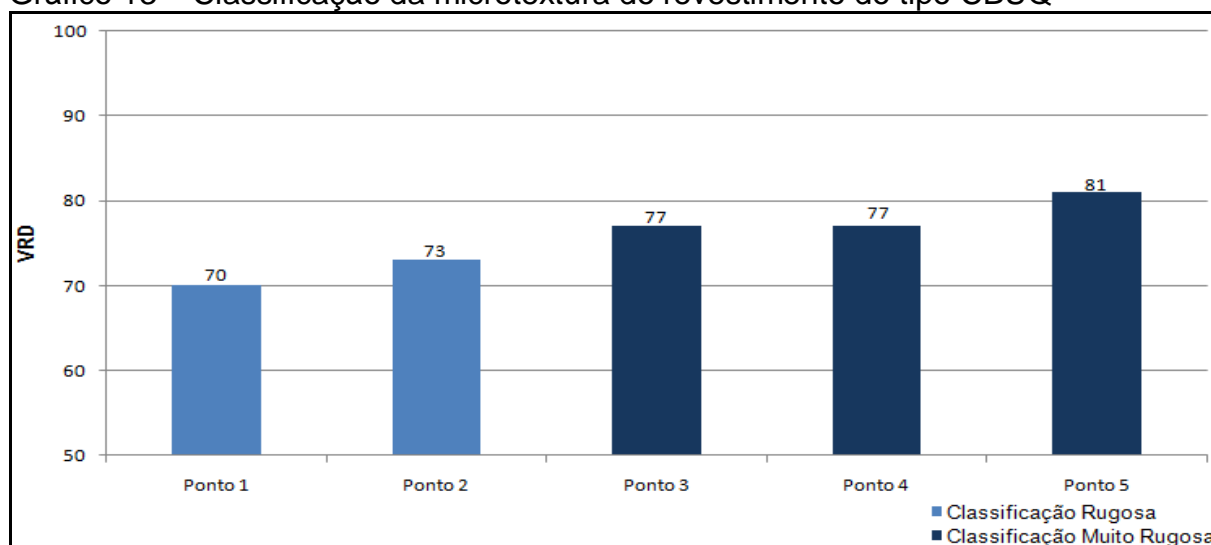
Após os ajustes do Pêndulo Britânico, a superfície de contato deve ser molhada, de forma a simular uma situação de hidroplanagem. Segundo a ASTM-E-303-93 (1998), devem ser realizadas cinco leituras em cada ponto, e destas, desconsidera-se para análise o maior valor encontrado em cada ensaio e o maior valor encontrado, permanecendo somente os valores médios. Dessa forma, e com base nas leituras consideradas para fins de determinação da microtextura e levando-se em consideração a classificação VRD, foi elaborado o Quadro 25 e o Quadro 26 – onde constam os resultados de cada revestimento analisado.

Quadro 25 – Resultado da microtextura no revestimento tipo CBUQ

	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03	Ensaio 04	Ensaio 05
Amostra 01	67	73	72	74	78
Amostra 02	65	73	75	76	79
Amostra 03	71	72	78	77	81
Amostra 04	71	73	78	78	82
Amostra 05	71	75	79	78	82
Média	70	73	77	77	81
Classificação	Rugosa	Rugosa	Muito Rugosa	Muito Rugosa	Muito Rugosa

Fonte: Do autor.

Gráfico 13 – Classificação da microtextura do revestimento do tipo CBUQ

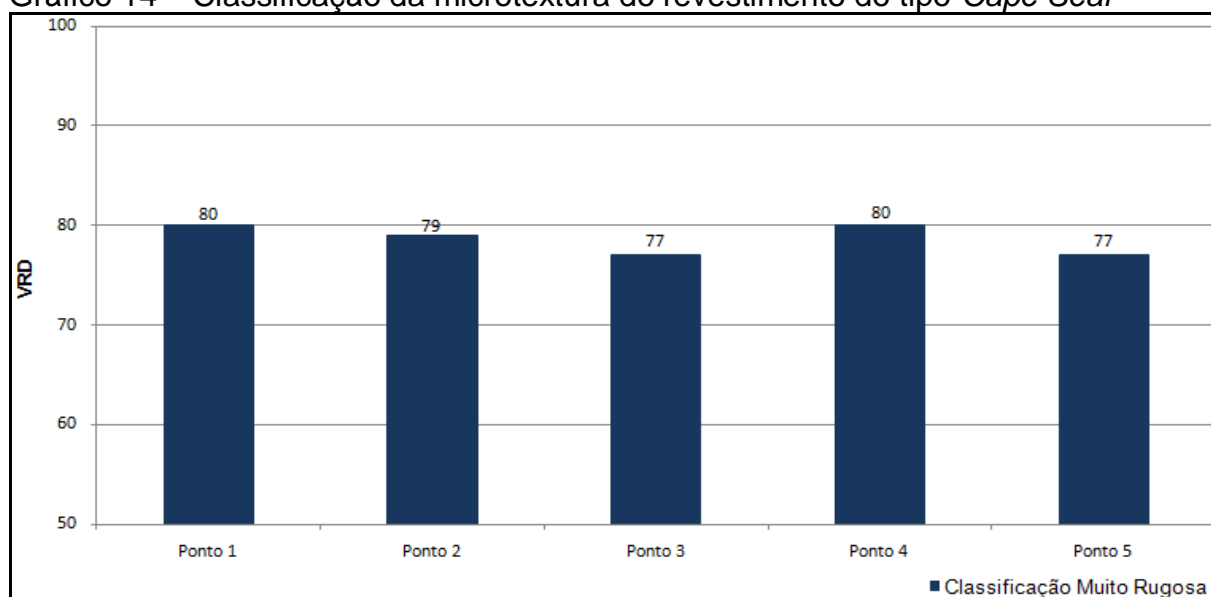


Fonte: Do autor.

Quadro 26 – Resultado da microtextura no revestimento tipo *Cape Seal*

	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03	Ensaio 04	Ensaio 05
Amostra 01	79	74	74	74	73
Amostra 02	81	79	77	78	77
Amostra 03	81	79	77	82	77
Amostra 04	81	81	79	83	78
Amostra 05	78	80	78	80	78
Média	80	79	77	80	77
Classificação	Muito Rugosa	Muito Rugosa	Muito Rugosa	Muito Rugosa	Muito Rugosa

Fonte: Do autor.

Gráfico 14 – Classificação da microtextura do revestimento do tipo *Cape Seal*

Fonte: Do autor.

Por meio dos pontos analisados, foi possível obter uma microtextura média para cada um dos revestimentos analisados nesta pesquisa. Assim foi possível constatar que houve variação quanto à rugosidade das texturas – o CBUQ foi classificado como rugoso e o *Cape Seal* como um revestimento muito rugoso.

Da mesma forma que ocorreu na macrotextura, e visando a maior homogeneidade das amostras calculou-se a média, desvio padrão e coeficiente de variação das amostras do microrrevestimento – conforme fórmulas do item 4.1. O BPNc foi obtido por meio da diferença entre a média obtida e o desvio padrão. Para facilitar a visualização dos resultados, foi criado o Quadro 27, que mostra resumidamente os resultados obtidos para cada um dos revestimentos analisados:

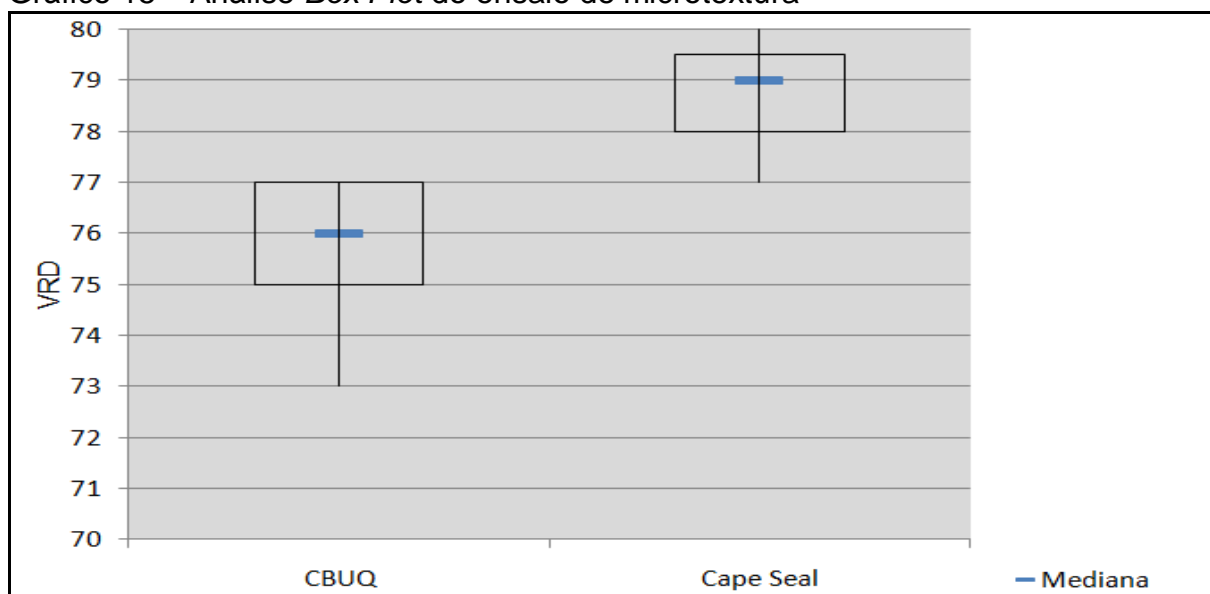
Quadro 27 – Análise estatística dos revestimentos CBUQ e *Cape Seal* (microtextura)

Revestimento	Média (BPN)	Desvio Padrão	Coef. variação	BPNc
CBUQ	75	2,31	3,0%	73
Cape Seal	79	1,53	1,9%	77

Fonte: Do autor.

Em geral, os coeficientes de variação são interpretados com variabilidade dos dados em relação à média, sendo que quanto menor for o valor encontrado, mais homogêneo é o conjunto de dados da amostra. Considera-se um coeficiente de variação baixo quando os valores encontrados são de um valor menor ou igual a 25%. Portanto, ambos os revestimentos encontram-se homogêneos.

Da mesma forma que os dados estatísticos da macrotextura foram analisados, foi feita a otimização dos dados com a utilização do gráfico *Box Plot*, o qual pode ser visto no Gráfico 15.

Gráfico 15 – Análise *Box Plot* do ensaio de microtextura

Fonte: Do autor.

4.3 Ensaio de deflexão

Após a aferição da viga Benkelman, foi possível dar procedimento ao levantamento deflectométrico dos trechos experimentais, sendo a análise feita seguindo orientação do ME-061/DNER (1994). Para isso, utilizou-se um caminhão do “tipo toco” (ESRD) que foi calibrado com pressão de 80psi. Após calibração, foi adicionada ao caminhão uma quantia de 8,2 toneladas de carga no eixo traseiro, igualmente distribuída entre as duas rodas duplas.

Ao chegar ao local da análise dos revestimentos, iniciou-se o procedimento de ensaio no revestimento do tipo CBUQ e, posteriormente, no revestimento do tipo *Cape Seal*, nos quais realizados os procedimentos de ensaio conforme previamente mencionados no item 3.4.3 deste trabalho. Na Figura 30 é possível visualizar o momento em que o extensômetro é ajustado e zerado, onde após a movimentação do Caminhão ESRD o vibrador da viga é ativado – que por sua vez encontra-se com a carga gerada pelo eixo padrão, iniciando-se a etapa da leitura inicial do extensômetro, sendo finalizada após o caminhão percorrer cerca de 10 metros.

Figura 30 – Ajuste do extensômetro



Fonte: Do autor.

Figura 31 – Leitura final do extensômetro



Fonte: Do autor.

As leituras encontradas em cada revestimento constam no Quadro 28 (CBUQ) e no Quadro 29 (*Cape Seal*).

Quadro 28 – Leitura deflectométrica obtida no ensaio do revestimento CBUQ

Leitura do revestimento do tipo CBUQ				
Posição		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferenças Lf-Ln (mm)	Deflexões
Ln	Distância (cm)			
L0	0	-3	35	70
L1	25	0	29	58
L2	50	0	19	38
L3	75	-2	20	40
L4	100	-3	20	40
L5	150	0	15	30
L6	200	0	14	28
L7	250	0	16	32
L8	300	0	8	16

Fonte: Do autor.

Quadro 29 – Leitura deflectométrica obtida no ensaio do revestimento *Cape Seal*

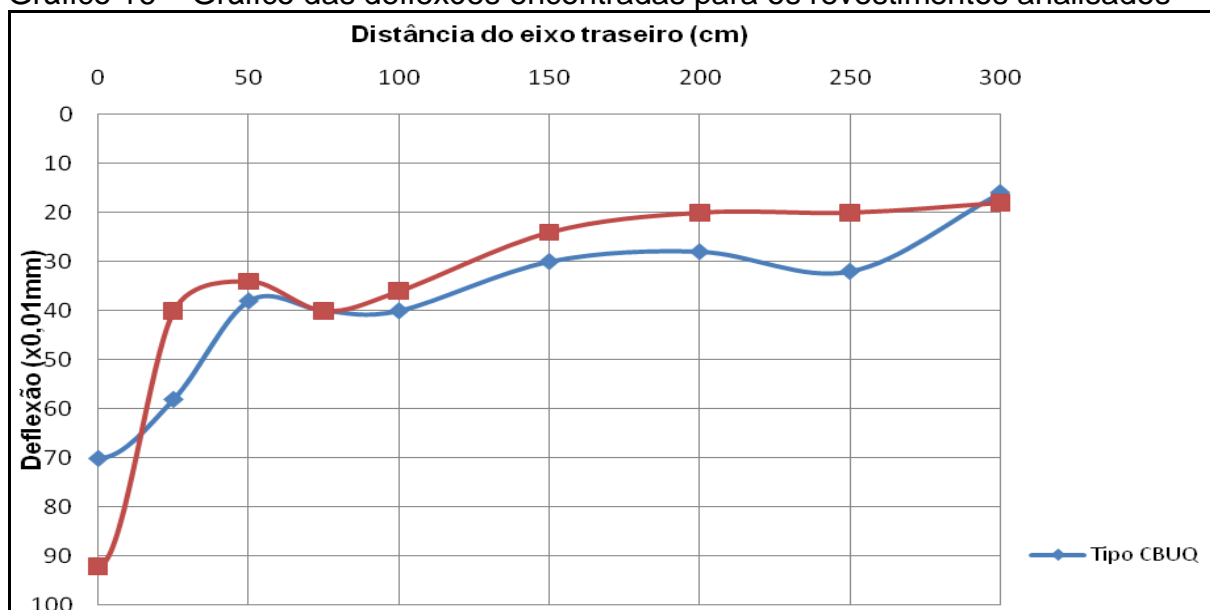
Leitura do revestimento do tipo <i>Cape Seal</i>				
Posição		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferenças Lf-Ln (mm)	Deflexões
Ln	Distância (cm)			
L0	0	0	46	92
L1	25	0	20	40
L2	50	0	17	34
L3	75	-4	20	40
L4	100	0	18	36
L5	150	0	12	24
L6	200	0	10	20
L7	250	-2	10	20
L8	300	0	9	18

Fonte: Do autor.

A última etapa do ensaio deflectométrico com base no ME-061/DNER consiste no desenho da bacia de deformação (Gráfico 16), onde observa-se que o CBUQ apresentou menores magnitudes na deflexão, o que já era esperado, pois o revestimento do tipo CBUQ já havia apresentado pouca deflexão, ainda que em locais de alta trafegabilidade.

Conforme pode-se observar no Gráfico 16, a deflexão máxima (D_0) obtida para o pavimento revestido com CBUQ foi de 70x0,01 mm, enquanto que para o pavimento revestido com *Cape Seal* foi de 92x0,01 mm. Portanto, verificou-se que ambas ficaram com valores abaixo da deflexão admissível estabelecida pelo PRO-011/DNER (1979). Ainda, destaca-se o fato de que aparentemente, pela bacia de deflexões, o revestimento de CBUQ distribuiu melhor as tensões na superfície, enquanto que o *Cape Seal* aparentemente concentrou mais as tensões no ponto de aplicação do carregamento.

Gráfico 16 – Gráfico das deflexões encontradas para os revestimentos analisados



Fonte: Do autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões obtidas neste trabalho. Para uma maior organização dos comentários decidiu-se separar em quatro subitens, a saber: macrotextura, microtextura, deflexões e sugestões para trabalhos futuros.

5.1 Análise da macrotextura

Nesta pesquisa, foi de extrema importância a análise da macrotextura do pavimento, uma vez que, está diretamente relacionada a segurança viária – pois a partir do ensaio da mancha de areia, determina-se o grau de aspereza dos agregados.

O resultado obtido através do ensaio da mancha de areia mostrou que ambos revestimentos encontram-se com a classificação média – resultado considerado satisfatório, em virtude da baixa intensidade de veículos. Além disso, revestimentos com macrotextura muito grossa ou muito fina podem ser prejudiciais aos veículos, em virtude do desgaste do pneu, bem como pavimentos com macrotextura classificada como muito fina podem ser prejudiciais, em virtude da ineficiência quanto ao escoamento da água. Contudo, há de se considerar que o pavimento analisado é novo, portanto poderá sofrer certa variação em sua macrotextura ao longo do tempo.

5.2 Análise da microtextura

Por meio do aspecto visual dos revestimentos analisados, já se esperava que o *Cape Seal* fosse apresentar características de rugosidade superiores às do CBUQ. Este fato se consolidou durante a análise dos resultados de microtextura, uma vez que o *Cape Seal* obteve classificação VRD como muito rugosa e o CBUQ como rugosa.

Apesar de haver uma pequena diferença quanto aos valores obtidos no VRD, tanto o revestimento do tipo *Cape Seal* quanto o revestimento do tipo CBUQ não devem apresentar problemas de segurança oriundos da derrapagem. Ainda mais que a pesquisa foi realizada em um condomínio residencial fechado, dessa forma, as velocidades médias dificilmente irão ultrapassar 50km/h, aumentando ainda mais a segurança da via.

5.3 Análise deflectométrica

Com base na análise deflectométrica e elaboração do desenho da bacia de deflexão dos revestimentos, é notável que o CBUQ apresentou melhores resultados deflectométricos, o que já era esperado em virtude da maior espessura do revestimento de CBUQ em comparação ao de *Cape Seal*.

Apesar da variação deflectométrica encontrada entre o revestimento do tipo *Cape Seal* e do tipo CBUQ, ambos os revestimentos encontram-se dentro das faixas de deflexão admissíveis. Portanto pode-se dizer os resultados encontrados em campo são satisfatórios.

5.4 Sugestões de trabalhos futuros

Sugerem-se, para fins de continuidade desta pesquisa, os seguintes estudos:

- Análise da macrotextura e microtextura dos revestimentos analisados nesta pesquisa com o passar do tempo, uma vez que os revestimentos analisados são novos;
- Estudo comparativo de demais revestimentos asfálticos em locais com baixo volume de tráfego;
- Análise deflectométrica dos pavimentos em diferentes períodos do ano, de modo a avaliar se o pavimento sofre variação de deflexão com diferentes temperaturas e umidades no pavimento.

REFERÊNCIAS

- ACUÑA, Mónica J; OBANDO, Denia S; ZAMORA, Doris M. **Preservación de carreteras**: Sellos de lechada asfáltica “Slurry Seals” en Costa Rica, conceptos, ensayos y especificaciones. *Infraestructura Vial*, n. 21, fev. 2009. Disponível em: <<http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/download/2014/1980>>. Acesso em: 27 mai. 2015.
- ADADA, Lucas B. **Avaliação das condições estruturais e funcionais de pavimentos de concreto de cimento portland**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/81472>>. Acesso em: 07 mai. 2015.
- ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Resolução Nº 236**. Brasília. Disponível em: < <http://www2.anac.gov.br/biblioteca/resolucao/2012/RA2012-0236.pdf>>. Acesso em: 26 ago.2015.
- ALBERTE, Elaine P. V.; CARNEIRO, Alex P.; BURGOS, Paulo C. **Uso do Agregado Reciclado em Camadas de Base e Sub-base de Pavimentos**. In: *Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção*. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001, v. 1. ISBN 85-232-0226-9
- ANTOSCZEZEM JUNIOR, José A. **Desenvolvimento dos revestimentos asfálticos produzidos com asfaltos modificados por polímeros e borracha de pneus no Brasil**. Sindicato da Indústria da Construção Pesada do Estado de São Paulo, Boletim Técnico. Edição n. 7. jun. 2012. Disponível em: <<http://www.sinicesp.com.br/materias/2012/bt07a.htm>>. Acesso em: 28 mai. 2015.
- APS, Márcia. **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI - Internacional Friction Index para revestimentos asfálticos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-11122006-144825/pt-br.php>>. Acesso em: 20 mai. 2015.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira Das Empresas Distribuidoras De Asfaltos. **ABEDA. Manual Básico de Emulsões Asfálticas**. ed. 2. Rio de Janeiro: Abeda, 2010.

BALBO, José T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARELLA, Rodrigo M. **Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em:
<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.teses.usp.br%2Fteses%2Fdisp-oniveis%2F3%2F3138%2Ftde-31032008-172407%2Fpublico%2FTese_RodrigoMalufBarella_revisada_2008.pdf&ei=Hzh1VdeLKcKcsAX844OwAw&usg=AFQjCNHzBI6KuPvwE0EsK4ZKQcBshibNrA&sig2=5CAjnNqQtF2Up3X2VO3h4w&bvm=bv.95039771,d.b2w>. Acesso em: 13 abr. 2015.

BARUFI, Bruno R. **Viabilidade da Aplicação do CBUQ 2 cm ao TST para Pavimentação (Tráfego Leve) de Vias Urbanas**. Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013. Disponível em:
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1901/1/CM_COMAC_2012_2_01.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2015.

BENEVIDES, Sérgio A. S; SILVA, Bruno T. A; OLIVEIRA, Francisco H. L; LOIOLA, Paulo R. R. **Análise Comparativa dos Valores do Índice Internacional de Irregularidade e do Levantamento Visual Contínuo em Rodovia Estadual do Ceará** In: RAPv, 39/ENACOR, 13, 2008, Recife. Disponível em:
<<http://www.berater.com.br/wp-content/uploads/2014/02/Artigo39a.RAPv-An+%C3%ADlise-comparativa-IRI-e-LVC1.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2015.

BERNUCCI, Liedi B; MOTTA, Laura M. V; CERATTI, Jorge A. P; SOARES, Jorge B. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para Engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Gráfica Imprinta, 2010.

BORGES, Carissa B. S. **Estudo Comparativo entre Medidas de Deflexão com Viga Benkelman e FWD em Pavimentos da Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Disponível em:
<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/79447/188421.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 18 mai. 2015.

BORRINUEVO, Maisa et al. **Descrição das Etapas do Licenciamento Ambiental das Obras de Apoio à Pavimentação da Rodovia Caminhos da Neve (SC-114)**. Revista Geografia Acadêmica, Santa Catarina, v. 8, n. 1, 2014. Disponível em:
<<http://rga.ggf.br/index.php?journal=rga&page=article&op=viewFile&path%5B%5D=218&path%5B%5D=145>>. Acesso em: 17 abr. 2015.

BRITO, Lélío A. T; Graeff, Ângela G. **Métodos de Dimensionamento de Pavimentos: Metodologias e seus Impactos nos Projetos de Pavimentos Novos e Restaurações**. Porto Alegre: dez. 2009. Disponível em:
<http://www.antt.gov.br/html/objects/_downloadblob.php?cod_blob=3227>. Acesso em: 20 mai. 2015.

BUDNY, Jaelson. **Avaliação dos Efeitos de Diferentes Tipos de Cal em Misturas de Concreto Asfáltico**. Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: <<http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Jaelson-Budny.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

CAMPEDELLI, José A. D; AULICINO NETO, Alberto J. **Segurança operacional em pavimentos rodoviários e aeroportuários - Atrito**. Disponível em: <<http://grupospm.com.br/wp-content/uploads/downloads/2012/04/SEG-OPER-EM-PAV-r3c-Completo.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2015.

CARDOSO, Fernando A. **Estudo do desempenho dos compostos de borracha utilizados na fabricação da banda de rodagem dos pneus automotivos em função dos pavimentos das rodovias**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-23082010-102911/pt-br.php>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

CAVALCANTE, Fabiano P. **Avaliação das características funcionais e estruturais da Rodovia BR-230/PB Lote III**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2005. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.repositorio.ufpe.br%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F5723%2Farquivo6385_1.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&ei=8TV1VcjFPLiZsAWUvoPYAw&usg=AFQjCNE6Ldu_AXUFzrbvJ-OO-NDACAIVZw&sig2=3bzPQSM7c5dxV2UhDF8ksQ&bvm=bv.95039771,d.b2w>. Acesso em: 02 jun. 2015.

CIBER. **UAB 18 SP** Altura: 220 pixels. Largura: 316 pixels. Disponível em: <http://www.ciber.com.br/pt/productos/ciber/plantas-de-asfalto/plantas-de-asfalto-discontinuas/uab-18e/UAB_18_E.html>. Acesso em: 25 abr. 2015.

CONFEDERAÇÃO Nacional do Transporte. **CNT. Pesquisa CNT de rodovias 2014: relatório gerencial**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relGeral.aspx>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

CORDEIRO, Samuel B; SILVA, Ary F. da; GONDIM, Lilian M. **Avaliação objetiva da superfície sobre base em alvenaria poliédrica da Av. Maria Edinir Bezzer de Mendonça no município de Juazeiro do Norte-CE**. Disponível em: <<http://encontros.ufca.edu.br/index.php/eu/eu2013/paper/download/2511/1136>>. Acesso em: 5 jun. 2015.

DEPARTAMENTO de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. **DER/SP. Avaliação Funcional e Estrutural de Pavimento**. São Paulo, 2006. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-P00-003_A.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2015.

DEPARTAMENTO de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. **DER-SP. Projeto de Restauração de Pavimento**. São Paulo, 2006. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-P00-002_A.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2015.

DEPARTAMENTO de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná. **DER/PR. Pavimentação: Concreto Asfáltico Usinado à Quente com Asfalto Polímero.** Paraná, 2005. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/pdf_Pavimentacao/ES-P15-05CAUQcomAsfaltoPolimero.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2015.

DEPARTAMENTO de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná. **DER/PR. Pavimentação: Tratamentos Superficiais.** Paraná, 2005. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/pdf_Pavimentacao/ES-P18-05TratamentosSuperficiais.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER. Norma administrativa DNER-PRO 159/85. Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.** 1985. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-PRO159-85.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER. Norma rodoviária DNER-ES 309/97. Pavimentação – tratamento superficial duplo.** Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNER-ES309-97.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER. Norma rodoviária DNER-PRO 182/94. Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e maysmeter.** 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-PRO182-94.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER. Norma rodoviária DNER-ME 024/94. Pavimento – determinação das deflexões pela Viga Benkelman.** 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME024-94.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Norma DNIT 031/2006 – ES. Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/DNIT031_2006_ES.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Norma DNIT 006/2003 – PRO. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT006_2003_PRO.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Norma DNIT 008/2003 – PRO. Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT008_2003_PRO.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Norma DNIT 009/2003 – PRO. Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT009_2003_PRO.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Norma DNIT 035/2004 – ES. Pavimentos flexíveis – Micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/normas/download/DNIT035_2004_ES.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Norma DNIT 133/2010 – ME. Pavimentação asfáltica - Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman – Método de ensaio** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT133_2010_ME.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Norma DNIT 147/2010 – ES. Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Duplo com ligante asfáltico convencional - Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT147_2010_ES.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Norma DNIT 137/2010 – ES. Pavimentação – Regularização do subleito – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT137_2010_ES.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Norma DNIT 141/2010 – ES. Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT141_2010_ES.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Norma DNIT 139/2010 – ES. Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT139_2010_ES.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Publicação IPR-719. Manual de pavimentação.** Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2015.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT. Publicação IPR-720. Manual de restauração de pavimentos asfálticos.** Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/..%5Carquivos_internet%5Cipr%5Cipr_new%5Cmanuais%5CManual_de_Restauracao.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2015.

FERNANDES, Floriano A. de T. **Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento para conservação do pavimento de vias urbanas, através de um sistema de informações geográficas (SIG)**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/95710/296875.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

FERREIRA, Patrícia N. **Avaliação da macrotextura de trechos pavimentados de rodovias estaduais situadas na região insular do município de Florianópolis**.

Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/83763>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

FONSECA, Paulo F; GIOVANETTI, José L.; MASSARANDUBA, José C. **Pioneira em aplicação de novas técnicas para pavimentação**. Fatos & Asfaltos, ano 01, n. 1, p. 2-3, set, 2004. Disponível em: <<http://www.grecaasfaltos.com.br/blog/pioneira-em-aplicacao-de-novas-tecnicas-para-pavimentacao/>>. Acesso em: 02 mai. 2015.

FRANCISCO, Vanessa D. L. **A drenagem superficial e o seu impacto funcional e estrutural na vida dos pavimentos rodoviários**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009. Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59178/1/000136925.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

GEWEHR, Juliano. **Usinas de asfalto**. Disponível em:

<<http://asfaltodequalidade.blogspot.com.br/2012/10/usinas-de-asfalto.html>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

GUEDES, Saul B. **Estudo da viabilidade técnica do cone de penetração dinâmica (CPD), do cone de penetração estática (CPE) e do penetrômetro panda no dimensionamento de pavimentos urbanos**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande – Paraná, 2008. Disponível em:

<http://www.coenge.ufcg.edu.br/publicacoes/Public_323.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2015.

HENRIQUE, Yuri F. **Método de avaliação de pavimentos aeroportuários: aplicação a um aeródromo militar**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em:

<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006465.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

HERRAMIENTAS y Equipos de Ensayo para Laboratorios Técnicos. **HEELT. Regla de Benkelman**. Altura: 234 pixels. Largura: 360 pixels. Disponível em:

<<http://www.heelt.com.ar/Producto.aspx?producto=112>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

HUBER, Aline. **Análise e avaliação da qualidade de serviço, infraestrutura e impactos ambientais do Porto Fluvial de Estrela**. Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul, 2013. Disponível em:

<http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/aline_huber___analise_e_avaliacao_..._porto_fluvial_de_estrela.pdf>. Acesso: 20 fev. 2015.

JENICHEN, Erik A; WICKERT, Fernando; Buhler, Aislan V. **A econometria como ferramenta para análise de defeitos em tratamento superficial**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, Disponível em: <<http://www.bibl.ita.br/ixencia/artigos/Infra03.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2015.

KENNEDY, Thomas W.; SOLAIMANIAN, Mansour. **Evaluation of the Cape Seal process as a pavement rehabilitation alternative**. Texas: Universidade do Texas. Disponível em: <https://www.utexas.edu/research/ctr/pdf_reports/1788_S.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2015.

KNIPHOFF, Tiago J. **Aspectos relacionados ao controle tecnológico durante a execução de estradas vicinais**. Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul, 2012. Disponível em: <http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/tcc_tiago_kniphoff.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2015.

LA SERNA, Humberto A. de; REZENDE, Márcio M. **Agregados para a Construção Civil**. São Paulo: ANEPAC, 2009. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/07/DNPM2009.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

LERCH, Rafael L. **Previsão de irregularidades pós-recap em rodovias do RS: Ajuste do modelo HDM-4**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. Disponível em <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2981/000329912.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02 mai. 2015.

LEVY, Ioel. **Subleito e sub-base: Suas especificações**. Coletânea de Artigos Técnicos ANAPRE - Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho, 2009. p. 29. Disponível em: <http://www.anapre.org.br/coletanea_artigos_2010.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2015.

LOIOLA, P. R. R; BARROSO, S. H. A; OLIVEIRA, Francisco. H. L.; NOBRE JÚNIOR, Ernesto F. **Análise da macrotextura e da microtextura em duas rodovias do Estado do Ceará**. In: Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço – SINAPRE, 4., 2009, Fortaleza. Anais do IV SINAPRE, 2009. Disponível em: <<http://www.berater.com.br/wp-content/uploads/2014/02/533-ABPv-2009-An+%C3%ADlise-da-macrotextura-e-da-microtextura-em-duas-rodovias-do-estado-do-Cear+%C3%AD.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2015.

LOIOLA, Paulo R. R. **Estudo de agregados e ligantes alternativos para emprego em tratamentos superficiais de rodovias**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2009. Disponível em: <www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/3670/1/2009_dis_prroiola.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2015.

MARQUES, Gabriele B. **Análise de pavimento flexível: estudo de um trecho crítico na rodovia ERS-421**. Lajeado: Univates, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/578>>. Acesso em: 28 mai. 2015.

MARTINI, Ulysses. **Proposição de um manual de pavimentação para o município de Blumenau**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. Disponível em:

<<http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/122007/TCC%20Ulysses%20Martini%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

MATOS, Evaldo L; BENKENDORF, Mauricio. **Caracterização física e mecânica em laboratório de resíduos de fresagem de pavimentação asfáltica para utilização em base e sub-base de pavimento**. Curitiba: Universidade Positivo, 2010.

Disponível em:

<http://aplicacoes.up.edu.br/biblioteca/arquivos/biblioteca_publicador/TCC2010/Engenharia%20Civil/CARACTERIZA%C3%87%C3%83O%20F%C3%8DSICA%20E%20MEC%C3%82NICA%20EM%20LABORAT%C3%93RIO%20DE%20RES%C3%8DDUOS%20DE%20FRESAGEM.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2015.

MATTOS, Carlos E. de A. **Sistema-Nacional-de-Viação 2015**: Rede rodoviária sob jurisdição do Ministério dos Transportes. 2015. Disponível em:

<<http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/snv-2014-1>>. Acesso em: 13 mai. 2015.

MATTOS, João R. G. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/30215>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

MATTOS, João R. G; CERATTI, Jorge A; NÚÑEZ, Washington P. **Análise de aderência pneu-pavimento em diferentes tipos de revestimentos de pavimentos**. Triunfo: ANTT, 2010. Disponível em:

<http://www.antt.gov.br/html/objects/_downloadblob.php?cod_blob=3222>. Acesso em: 17 mai. 2015.

MICHELON, Daniela B. **Viabilidade técnica, econômica e ambiental para a implantação de uma recicladora de resíduos da construção civil em Foz do Iguaçu-PR**. Foz do Iguaçu: Faculdade Dinâmica das Cataratas, 2012. Disponível em: <<http://www.udc.edu.br/monografia/monoamb214.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

NAKAMURA, Juliana. **Pavimentação Asfáltica - Os tipos de revestimentos, o maquinário necessário e os cuidados na contratação**. Revista eletrônica

Infraestrutura Urbana. São Paulo: PINI, dez. 2011. Edição 16. 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/pavimentacao-asfaltica-os-tipos-de-revestimentos-o-maquinario-necessario-260588-1.aspx>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

National Cooperative Highway Research Program. **NCHPR. A Synthesis of Highway Practice**. Washington, 2010. Disponível em:

<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_411.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2015.

NÓBREGA, Eduardo S. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/geotecnia/2003/teses/NOBREGA_ES_03_t_M_geo.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2015.

NOVAES, Ramon S. et al. **Desenvolvimento do laboratório móvel de pavimentação pelo laboratório de geotecnia da Universidade Federal da Bahia**. XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE 2007. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2007/artigos/161-Ramon%20S%C3%A1%20Novaes.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2015.

NUNES, Maria G. F. **Reciclagem de Pavimentos "in situ" a Frio com Emulsão Betuminosa – A Experiência Portuguesa**. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/389/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2015.

OLIVEIRA, Francisco H. L. de. **Proposição de estratégias de manutenção de pavimentos aeroportuários baseadas na macrotextura e no atrito: estudo de caso do aeroporto Internacional de Fortaleza**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2009. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/ri/handle/riufc/4866>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

PEREIRA, Cláudia A. et al. **Análise da aderência pneu-pavimento em pontos de ocorrência de acidentes. Revista digital Transportes**. ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. V. 20. n. 2, 2012. Disponível em: <<http://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/525/0>>. Acesso em: 19 mai. 2015.

PEREIRA, José M. B. **Um procedimento de retroanálise para pavimentos flexíveis baseado na teoria do ponto inerte e em modelagem matemática**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-06072007-084827/en.php>>. Acesso em: 18 mai. 2015.

PINTO, Salomão. **Tratamento Superficial Betuminoso**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2006.

PIRES, Fernanda de L. e S. **Avaliação de soluções de restauração funcional de pavimentos: estudo de uma rodovia do Programa CREMA-RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34401/000789694.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 29 mai. 2015.

POLETI, Michela S. **Interpretação numérica de ensaios de fadiga em concreto asfáltico reforçado com geogrelha**. São Paulo: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2005. Disponível em: <<http://obraslivres.com/obras/62320/interpretacao-numerica-de-ensaios-de-fadiga-em-concreto-asfaltico-reforcado-com-geogrelha>>. Acesso em: 05 mai. 2015.

PONTES, Carlos A. M. **Análise da evolução de defeitos de superfície em trechos da malha rodoviária do Estado do Ceará.** Ceará: Universidade Federal do Ceará. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/3782>>. Acesso em: 06 mai. 2015.

QUIRINO, Marina E. P. **Recuperação de pavimentos flexíveis em áreas de taxiamento de aeronaves:** um estudo de caso da pista Fox-2 do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – MG. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2013. Disponível em: <<http://www.pos.demc.ufmg.br/2015/trabalhos/pg2/99.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2015.

REIS, Rafael M. M; CERATTI, Jorge A. P. **Manual de Microrrevestimento Asfáltico a Frio – MRAF.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

RIBAS, Jean C. **Parâmetros elásticos típicos de materiais de pavimentos flexíveis do Rio Grande do Sul e sua aplicação numa análise de custo/benefício.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/Dissertacao_Jeancarlo_Ribas.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2015.

RODRIGUES, Amanda C; SOARES, Jorge B; BARROSO, Suelly H. A. **Avaliação da influência da granulometria de misturas asfálticas na aderência pneu-pavimento.** Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2014. Disponível em: <<http://www.anpet.org.br/xxviii/anpet/anais/documents/AC500.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2015.

SANEPAR. **Pavimentação.** MOS ed. 4. Mód. 10, 2012. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/mos-4a-edicao/modulo_10_4ed_v00_-_pavimentacao.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2015.

SAYERS, Michael W; KARAMIHAS, Steven M. **The little book of profiling.** Michigan University, 1998. Disponível em: <<http://www.umtri.umich.edu/content/LittleBook98R.pdf>> Acesso em: 03 dez. 2015

SENÇO, Wlastermiller. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** São Paulo: PINI, 2008. ed. 2. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2008.

SILVA JUNIOR, Francisco A. da. et al. **Aplicação do cone de penetração dinâmica (CPD) no dimensionamento de pavimentação de aeroportos.** V Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias. Trabalho V-027. Recife, 2006. Disponível em: <<http://www.andit.org.br/vjornada/Trabalho%20Final/Trabalho%20V-027.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2015.

SILVA, João P. S. **Aderência pneu-pavimento em revestimentos asfálticos aeroportuários.** Brasília: Universidade de Brasília, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3470/1/Dissert_JoaoPauloSouzaSilva.pdf>. Acesso em 02 jun. 2015.

SOARES, Jorge B; MOTTA, Laura M. G. da; LEITE, Leni M. **Quatro anos de observação da pista experimental do Ceará.** In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 13., ANPET, São Carlos. Disponível em: <http://www.det.ufc.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=31&Itemid=159>. Acesso em: 22 mai. 2015.

SPECHT, Luciano P; ROZECK, Thiago; HIRSCH, Fábio; SANTOS, Reginaldo T. **Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de Mancha de Areia.** Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2007. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art5_N10.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2015.

STRECK, Edemar V; KAMPF, Nestor; DALMOLIN, Ricardo S. D; KLAMT, Egon; NASCIMENTO, Paulo C. do; SCHNEIDER, Paulo; GIASSON, Élvio; PINTO, Luiz F. S. **Solos do Rio Grande do Sul.** ed. 2. Porto Alegre: EMATER-RS, 2008.

SUZUKI, Carlos Y; AZEVEDO, Angela M; KABBACH JUNIOR, Felipe I. **Drenagem Subsuperficial de Pavimentos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

VASCONCELOS, Márcio A. G. **Estudo sobre o emprego do Cape Seal em revestimento rodoviários do Estado do Ceará.** Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2013. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/7989>>. Acesso em: 09 mar. 2015.

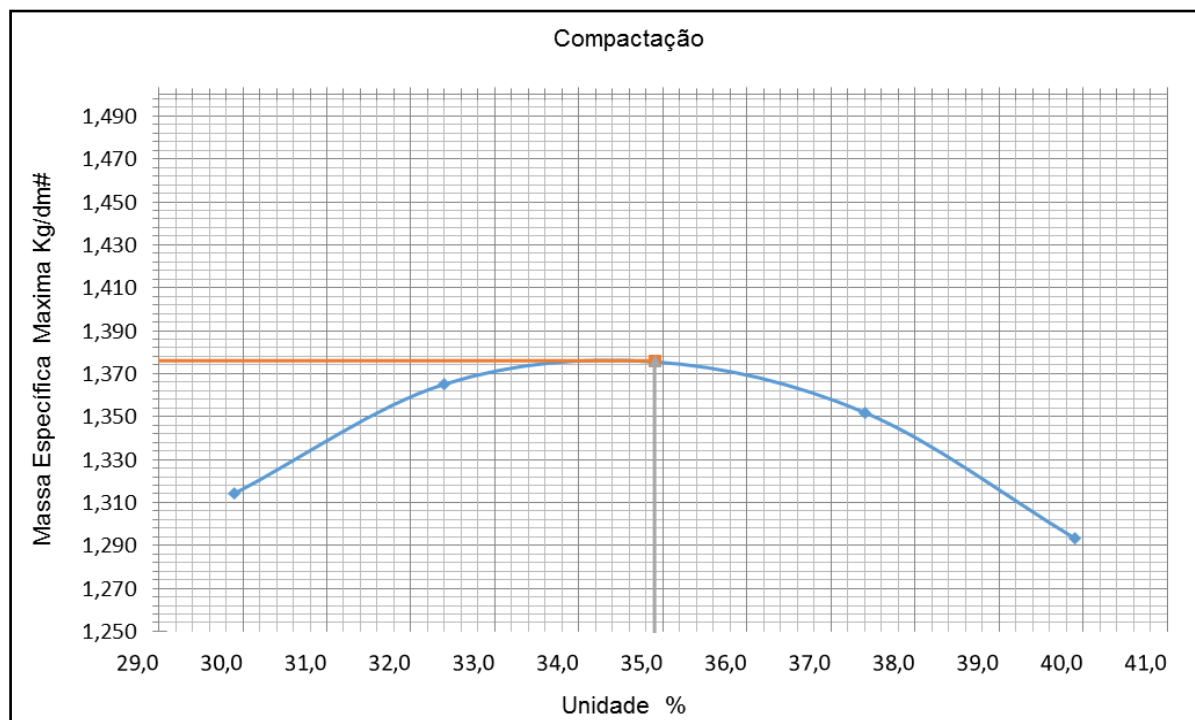
VIEIRA, Tiago; REDONDO, Diego C; KUCHIISHI, André K; CALLAI, Sérgio C; BERNUCCI, Liedi L. B. **Avaliação da macrotextura média de superfícies de pavimentos:** comparação entre as técnicas com drenômetro com Mancha de Areia. São Paulo: Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, 2013. Disponível em: <http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/63_AC.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2015.

ZAGONEL, Ana R. **Inovações em revestimentos asfálticos utilizados no Brasil.** Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2132/INOVAC3%87%C3%95ES%20EM%20REVESTIMENTOS%20ASF%3%81LTICOS%20UTILIZADOS%20NO%20BRASIL.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

ANEXOS

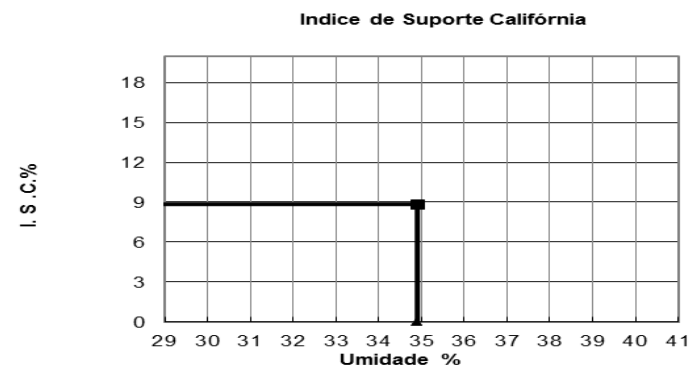
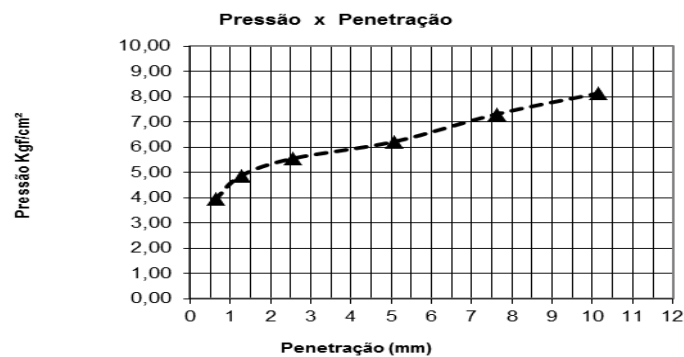
ANEXO A – Testes obtidos no ensaio de caracterização do subleito

Unidade do Ensaio %						Unidade higroscópica			
Corpo de Prova nº	7	7	7	7	7	Capsula nº	13	15	
Capsula + solo Úmido (gr)							103,80	123,70	
Capsula + solo Sêco (gr)							83,11	99,02	
Pêso da Capula (gr)							0,00	0,00	
Pêso da Água (gr)	120	180	240	300	360		20,69	24,68	
Pêso do Solo Sêco (gr)							83,11	99,02	
Umidade %	29,9	32,4	34,9	37,4	39,9		24,89	24,92	
Umidade média %								24,91	
Compactação Kgr/dm³						Amostra / CP			
Cilindro pequeno	07	07	3	07	07	Pêso Solo Úmido (gr)		3000,0	
Cilindro+ Solo Úmido	3998	4098	4146	4148	4100	Fator de Correção		0,801	
Pêso do Cilindro	2296	2296	2296	2296	2296	Pêso Solo Sêco (gr)		2401,74	
Pêso do Solo	1702	1802	1850	1852	1804	Água em Gramas		598,26	
Volume do Cilindro	997	997	997	997	997	Umidade do Proctor %		34,90	
Densidade Úmida	1,707	1,807	1,856	1,858	1,809	Água em %		24,91	
Densidade Maxima sêca	1,314	1,365	1,376	1,352	1,293	Água a Juntar (gr)		239,946	



Resumo		Caracterização da Amostra	
Unidade Ótima %	34,9	Tipo de Solo	ARGILOSO
Densidade Maxima Kg/dm³	1,376	Cor	VERMELHA

Unidade Higroscópica						Molde nº	7	
Cápsula nº	13		15			Pêso do Molde	2296	
Cápsula + Solo Úmido	103,80		123,70			Volume do Molde	997	
Cápsula + Solo Sêco	100,00		100,00			Nº de Camadas	03	
Pêso da Capsula	0,00		0,00			Golpes / Camada	9	
Pêso da Água (gr)	20,69		24,68			Pêso do Soquete(Kg)	4,536	
Pêso do Solo Sêco	83,11		99,02			Espessura do disco espaçador (pol.)	2,5"	
Umidade (%))	24,89		24,92					
Umidade Média (%))	24,91							
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						Constante do Anel -	0,05190	
Al. Platanos						N 1		
Tempo min.	Penetração		Leitura Extens.	Pressão - Kg/cm²			Expansão	
	Pol.	mm		Determ.	Padrão	%	CP Nº	3
0,30	0,025	0,63	76	3,94			Data inicial	04/01/2015
1	0,05	1,27	94	4,88			Data final	08/01/2015
1,30	0,1	1,90	107	5,55			Leitura Defl.(mm)	1,00
2	0,2	2,54	120	6,23	70,31	8,86	Leitura Defl. (final)	1,14
3	0,3	3,81	141	7,32			Diferença (mm)	0,14
4	0,4	5,08	157	8,15	105,46	7,73	Altura inicial (mm)	1,153
6	0,5	7,62	183	9,50			Expansão (mm)	0,12



RESUMO		Caracterização da Amostra	
Densidade Máxima - Kg/dm ³	1,376	Tipo de Solo	ARGILOSO
Umidade Ótima -%	34,9		
Índice de Suporte Califórnia- %	8,86	Cor	VERMELHA
Expansão - (mm)	0,12		

LIMITE DE LIQUIDEZ			DNER-ME 44-71		NBR 6459/84		
CAPSULA No.	Peso da capsula e solo umido	Peso da capsula e solo seco	Peso da capsula	Peso da agua	Peso do solo seco	Porcentagem de agua	Numero de golpes
16	24,62	20,91	12,24	3,71	8,67	42,8	49
17	25,17	21,34	12,31	3,83	9,03	42,4	40
18	28,18	23,06	12,15	5,12	10,91	46,9	28
21	25,02	20,91	12,09	4,11	8,82	46,6	22
24	25,30	21,22	11,62	4,08	9,60	42,5	12
LIMITE DE PLASTICIDADE			DNER-ME 82-63		NBR 7180/84		
CAPSULA No.	Peso da capsula e solo umido	Peso da capsula e solo seco	Peso da capsula	Peso da agua	Peso do solo seco	Porcentagem de agua	LIMITE DE Plasticidade
25	13,75	13,27	11,86	0,48	1,41	34,0	
26	14,47	13,90	12,26	0,57	1,64	34,8	
27	14,06	13,54	12,08	0,52	1,46	35,6	34,9
29	14,32	13,79	12,31	0,53	1,48	35,8	
31	13,87	13,32	11,72	0,55	1,60	34,4	
GRANULOMETRIA			DNER 80-64				
PREPARAÇÃO DO MATERIAL			PENEIRAMENTO				
UMIDADE			PENEIRA	PESO DA AMOSTRA		% PASSANDO	
Capsula nº		1		RETIDO	PASSADO	PARCIAL	TOTAL
Amostra + tara + água (g)		64,78	2"		1082,7	100,0	
Amostra + tara (g)		64,14			1082,7	100,0	
Tara (g)		24,70	1"	0	1082,7	100,0	
Umidade (%)		1,62	3/4"	0,0	1082,7	100,0	
PENEIRAMENTO GROSSO			3/8"	0,00	1082,7	100,0	
Amostra total úmida (g)		1100,00	4	0,00	1082,7	100,0	
Solo seco ret # 10 (g)		14,10	10	14,10	1068,6	98,7	98,70
Solo úmido passado # 10 (g)		1085,90	40	4,40	94,00	95,5	94,28
Solo seco pass. # 10 (g)		1068,56	200	19,87	78,53	79,8	78,77
Amostra total Seca (g)		1082,66					
PENEIRAMENTO FINO							
Peso da amostra úmida (g)		100,00					
Peso da amostra seca (g)		98,40					

RESULTADOS ÍNDICES FÍSICOS

LL	44,5
LP	34,9
IP	9,6

Fonte: Do autor.